


LANE
MEDICAL
LIBRARY
SEAL OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
1885





...ektro-technische BIBLIOTHEK.

XIX. BAND.

Die

SPANNUNGS-ELEKTRICITÄT

ihre

Gesetze, Wirkungen

und

technischen Anwendungen.

A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustr. Bänden, geh. à 1 fl. 65 kr. ö. W. = 3 Mark = 4 Fr. = 1 R. 80 Ko
elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. ö. W. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 K

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen M schinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rü sicht auf ihre Construction. 4. Aufl. Von Gustav Glaser-De Ce

II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilu des elektrischen Stromes. 2. Aufl. Von Eduard Japing.

III. Band. Das elektrische Licht. 2. Aufl. Von Dr. A. von Urbanitzk

IV. Band. Die galvan. Batterien, mit besond. Rücksicht auf ihre Cons und ihre Anwendungen in der Praxis. 2. Aufl. Von Wilh. Ph. Hau

V. Band. Die Verkehrs-Telegraphie der Gegenwart, mit besonde Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack.

VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rüc sicht auf ihre Anwend. in der Praxis. 2. Aufl. Von Theodor Schwartz

VII. Band. Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetall-Gewinnun mit besond. Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. 2. Aufl. V. E. Japin

VIII. Band. Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrument Mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. 2. Aufl. Von A. Wilk

IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksic auf ihre Anwendungen in der Praxis. 2. Aufl. Von Wilh. Ph. Hauc

X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend d elektr. Terminologie in deutsch., franz. u. engl. Sprache. Von Prof. Dr. P. Zec

XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen. 2. Aufl. V Dr. A. von Urbanitzky.

XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen un das Signalwesen. Von L. Kohlfürst.

XIII. Band. Die elektrischen Uhren und die elektrische Feuerweh Telegraphie. Von Prof. Dr. A. Tobler.

XIV. Band. Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter.

XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärische Zweck Von Dr. Fr. Waechter.

XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für all Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias.

XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und B triebes. Von Josef Krämer.

XVIII. Band. Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkund Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski.

XIX. Band. Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, Wirkunge und technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger

XX. Band. Die Weltliteratur der Elektricität und des Magneti mus, 1860 bis 1883. Mit einem Sachregister. Von Gustav May.

XXI. Band. Die Motoren der elektrischen Maschinen mit Bezug a Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwartze.

XXII. Band. Die Generatoren hochgespannter Elektricität. Vo Prof. Dr. J. G. Wallentin.

XXIII. Band. Das Potential und seine Anwendungen bei der Erklärun elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.



Die

SPANNUNGS-ELEKTRICITAT

ihre Gesetze

Wirkungen und technischen Anwendungen.

Von

K. W. Zenger,

o. ö. Professor der Physik an der k. k. böhm. technischen Hochschule in Prag.

Mit 86 Abbildungen.



WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1884.

K. k. Hof-Buchdruckerei Carl Fromme in Wien.

Vorwort.

Das vorliegende Werk wurde in der Absicht geschrieben, einerseits als allgemeine Einleitung in die Lehre von den Elektricitätserscheinungen zu dienen, andererseits die Erscheinungen der elektrischen Spannung auch dem Laien in kurzer Uebersicht zugänglich und verständlich zu machen.

Ein historischer Ueberblick der Entwicklung der Elektricitätslehre zeigt den enormen Fortschritt, der auf dem Gebiete der spannungselektrischen Erscheinungen gemacht worden. Wenn auch weniger tief in's praktische Leben eingreifend, als die Lehre von den dynamischen Erscheinungen der Elektricität, von den elektrischen Strömen und ihren hochwichtigen und so mannigfaltigen Anwendungen, bildet doch die Kenntniss der Erscheinungen der Spannungselektricität, oder wie man sie auch oft nennen hört, der statischen Elektricität die feste Grundlage für eine gründliche Auffassung der dynamischen Erscheinungen der Elektricität.

Es ist kaum möglich, eine scharfe Trennung zwischen beiden Arten elektrischer Erscheinungen, den sogenannten statischen und dynamischen, durchzuführen; auch besteht ja die Spannungselektricität in einer Störung des

elektrischen Gleichgewichtes, wie weiter unten gezeigt wird, in einer elastischen Spannung der Theilchen eines elektrisirten Körpers, oder doch in einem Zustande, der die weitestgehenden Analogien zu demselben darbietet.

Es erscheint mir daher der Ausdruck Spannungselektricität ein den Gegenstand viel besser kennzeichnender, als der sonst gebräuchliche: statische Elektricität, denn in Wahrheit existirt keinen Augenblick innerhalb der Moleküle eines elektrischen Körpers eine Gleichgewichtslage derselben, ebenso wenig als in einem mit stetig wirkender Kraft tordirten oder detordirten Körper.

Seit Otto von Guericke und Gilbert die Grundlagen für die Lehre von der Spannungselektricität schufen und die unvergänglichen Arbeiten eines Coulomb und Volta ihre genaue Untersuchung und Messung ermöglichten, hat sich dieser Theil der Elektricitätslehre in einer Weise erweitert, dass der enge Raum des vorliegenden Bandes wohl nur gestattet, die Errungenschaften der Wissenschaft auf diesem Gebiete, die wir den unermüdeten Forschungen von Faraday, Riess und Thomson danken, zu skizziren. Namentlich war es die hohe Entwicklung der experimentellen Behelfe, welche diese Männer der Wissenschaft geschaffen und auch in erster Linie zur Aufstellung der Grundgesetze der Induction, der Wärmewirkung und des Verhaltens von Leitern und Isolatoren ausnutzten, welche einen so ungemein raschen Fortschritt und ein so überreiches Material darbieten, dass, um Alles, was auf diesem Felde geleistet worden, wiederzugeben, kaum der dreifache Raum des vorliegenden Werkes reichen würde.

Die praktische Tendenz der von der Verlagsbuchhandlung A. Hartleben in so opferwilliger Weise edirten

und reich illustrirten Reihe von Schriften über Elektricität machte es aber nothwendig, auch die, wenn auch nicht vielen, doch immer für die Praxis wichtigen Anwendungen der Spannungselektricität eingehender zu besprechen, und der geneigte Leser wird daher ausser den theoretischen Beobachtungen und Resultaten auch eine eingehende Beschreibung der bewährtesten Apparate zur Erzeugung, Ansammlung und praktischen Verwerthung der Spannungselektricität vorfinden.

Es war das aufrichtige Streben dahin gerichtet, nichts von ausschlaggebender Wichtigkeit in theoretischer, wie in praktischer Richtung zu übergehen und die in der einschlägigen Weltliteratur anerkannt höchsten Leistungen deutscher, englischer und französischer Fachmänner eingehend zu behandeln.

So wurden die Arbeiten von Riess, Boltzmann, Faraday, Hopkinson, Gordon, Mascart u. A., welche so viel Licht auf die Wirkungsweise der Isolatoren, die Analogien der Ladungs- und Entladungserscheinungen mit elastischen Wirkungen warfen, näher besprochen, weil sie ein neues Bindeglied zwischen Spannungs- und strömender Elektricität geworden und ein helles Licht auf die Vorgänge bei dem Entladungsstrome werfen, und, soweit es nur der Raum gestattete, umständlich dargelegt.

Diese neue Brücke, welche aus dem Gebiete der Spannungselektricität in jenes der strömenden Elektricität uns fortan führt, ist wie nichts Anderes geeignet, helles Licht auf die Natur und Entstehung sowohl elektrischer Spannung als Entladung zu werfen und beide zu einem harmonischen und klaren Ganzen zu verbinden.

Es wurde daher so Manches, was eigentlich dem Gebiete der dynamischen Elektricität angehört, in den

Rahmen dieses Buches einbezogen, weil es zuvörderst die Tendenz desselben war, vom Grunde aus zu bauen, einen Uebergangspunkt zu den übrigen Bänden dieser Sammlung zu bilden und die Auffassung der elektrischen Erscheinungen als Ganzes zu erleichtern und zu fördern.

Wie immer bei rascher Entwicklung einer Wissenschaft Vieles in kurzer Zeit veraltet, Vieles einer gründlichen Umarbeitung bedarf, so sollen auch alle Partien dieses Buches, wenn sie eine gütige Beurtheilung und Anklang bei dem für Elektricität sich interessirenden Publicum finden, nach und nach der etwa nöthigen Revision und Erweiterung unterzogen werden.

Manche von dem Verfasser als Resultate eigener Forschung besprochene Gegenstände werden vielleicht bei Construction von Blitzschutzvorrichtungen, Erzeugung von Elektricität durch Influenz und Verwerthung der in ansehnlicher Menge, aber nicht mit allzu hoher Spannung entwickelten Elektricität, z. B. zu Minensprengungen und zu Studien über die Constitution des elektrischen Lichts in luftverdünntem Raume, sich von einigem Nutzen erweisen.

Die in neuerer Zeit so wesentlich geänderte Terminologie in der Elektricitätslehre hat manches Wirrsal, manche Unklarheit geschaffen; es ist daher versucht worden, die ältere mit der neueren Terminologie in einen widerspruchsfreien, klaren Zusammenhang zu bringen, dies umso mehr, als die früher erschienenen Bände dieser Sammlung zumeist sich der neuesten Terminologie, wie sie durch den internationalen Congress der Elektriker in Paris 1881 geschaffen worden, bedienen.

Es wird erhofft und gewünscht, dass es gelungen sei, ein solches Bindeglied herzustellen, und die Beziehungen

zwischen elektrischen Wirkungen und ihnen äquivalenten mechanischen Wirkungen, d. h. das absolute Mass für die Aeusserungen elektrischer Energie, festzustellen und auch dem Laien klar zu machen.

Es ist unendlich schwer, bei Darstellung rein wissenschaftlicher Theoreme das Abstracte, den weiteren Kreisen wenig Zugängliche, in allseitig verständlicher Weise darzustellen, und es schien mir daher der beste Weg, durch einen kurzen historischen Ueberblick der Entwicklung dieses Theiles der Elektricität eine Grundlage zu schaffen, auf der fortbauend ein Verständniss der neuesten Forschungen und Ergebnisse auf diesem Gebiete angebahnt werden könnte.

So wurde es den späteren Capiteln dieses Werkes vorbehalten, die Begriffe der elektrischen Spannung und ihrer Differenz, des Potentials und der Auswerthung der elektrischen Arbeit im mechanischen Masse auf Grund der bereits erlangten Kenntnisse von den allgemeinen Gesetzen der elektrischen Wirkung festzustellen und näher zu erläutern, dies auch sogleich anzuwenden und so dem Verständnisse Aller näher zu bringen, indem die Versuche Mascart's und die Apparate von Thomson besprochen wurden, welche zur Messung der Ergiebigkeit elektrischer Maschinen in absolutem Masse angewendet worden.

So wie der Verfasser allen Fleiss daran gewendet, ein klares und möglichst umfassendes Bild des besprochenen Stoffes zu liefern, hat auch die Verlagsbuchhandlung die Kosten nicht gescheut, um für das Wort die nöthige Unterstützung durch die Anschauung zu sichern.

Der Verfasser.

Inhalt.



Vierter Abschnitt

Die Elektrisirmaschinen.

Fünfter Abschnitt.

Illustrations-Verzeichniss.

Einleitung.

I. Elektrische Erscheinungen.

Die elektrischen Erscheinungen waren bereits im Alterthume bekannt, es wird allgemein angenommen, dass schon Thales (geb. 640 v. Chr.) die Anziehung leichter Körperchen durch geriebenen Bernstein kannte.

Der griechische Name des Bernsteins indessen: „ἤλεκτρον", wird von ἑλκεῖν, ziehen, abgeleitet, das ist Zugstein, während altdeutsch bernen: „brennen" bedeutet, das fossile Harz bezeichnend, welches angezündet werden kann.

Doch hierauf scheinen sich die Kenntnisse der elektrischen Erscheinungen der alten Griechen beschränkt zu haben, bis Theophrastus von Lesbos (geb. 371 v. Chr.), ein berühmter Mineralog, an einem Lynkurion genannten Minerale beim Reiben oder Erwärmen ähnliche Erscheinungen, wie die am Bernstein gekannten, zuerst beobachtete. Doch scheint es sich hier um den bekannten Turmalin und die an ihm durch Erwärmen erzeugte Pyroelektricität, und nicht um durch Reibung erzeugte Elektricität zu handeln. Es ist nicht mit Sicherheit zu constatiren, ob das Lynkurion genannte Mineral wirklich Turmalin war. Auch Plinius spricht in seiner „Historia naturalis" von einem Steine, der, an der Sonne erwärmt,

leichte Körper anzieht, und hier scheint es sich in der That um den Turmalin gehandelt zu haben. Es geht daraus hervor, dass die Alten die Grunderscheinungen der durch Reibung entstehenden Elektricität, sowie der durch Erwärmung hervorgerufenen Krystall- oder Pyroelektricität (πυρός, Feuer) gekannt haben, soweit sie sich auf die Anziehung leichter Körperchen durch den elektrisch gewordenen Bernstein oder Krystall bezogen.

Auffallen muss es, dass sowohl die Alten, als bei dem Wiedererstehen der Wissenschaften viele hervorragende Forscher des Mittelalters keine Kenntniss von der zweiten Grunderscheinung der Abstossung (Repulsion) der leichten Körperchen durch den elektrischen Körper nach erfolgter Anziehung hatten.

Zuerst war es Gilbert, welcher die Erkenntniss elektrischer Erscheinungen und ihrer Wesenheit in seinem Werke: „De magnete, magneticisque corporibus, Londini 1600" wesentlich dadurch förderte, dass er auf den Unterschied der Anziehung, durch einen magnetischen und elektrischen Körper hervorgebracht, aufmerksam machte. Durch zahlreiche Versuche ermittelte er eine Menge von Körpern, welche ebenso wie Bernstein durch Reibung elektrisch werden können, als: Diamant, Saphir, Rubin, Opal, Chalcedon, Bergkrystall, Glas, Kochsalz und Alaunstein, und Nicolo Cabaeo (1639) fügte zu den durch ihn bekannt gewordenen noch Wachs, Gyps und Harz hinzu.

Die wichtigste Erweiterung der Kenntniss elektrischer Erscheinungen verdanken wir aber dem bekannten Erfinder der Luftpumpe Otto von Guericke. Er hat die erste Elektrisirmaschine hergestellt, indem er in eine Glaskugel geschmolzenen Schwefel goss, die Glashülle entfernte, die so erhaltene spiegelglänzende Schwefelkugel

durchbohrte und an eine hölzerne Axe steckte. Diese ruhte in hölzernen Lagern und wurde mit einer Kurbel versehen; Guericke drückte die trockene erwärmte Handfläche an die Schwefelkugel, während er die Kurbel rasch drehte.

So konnte er bereits elektrische Funken und ihr Knistern wahrnehmen und die elektrischen Erscheinungen genauer studiren. Die wichtigste Frucht seiner Versuche mit der ersten Elektrisirmaschine war die Entdeckung der elektrischen Abstossung; er veröffentlichte die Gesammtergebnisse seiner Versuche in dem Werke: „Ottonis de Guericke Experimenta nova, ut vocantur, magdeburgica, Amstelodami 1672".

Noch stärkere elektrische Funken als Guericke erhielt Doctor Wall (Philosophical Transactions, V. 1708), indem er Bernstein und Schellack zu seinen Versuchen verwandte, wobei er deutliche elektrische Funken und lautes Knistern beobachtete. Er und Guericke zeigten, dass die elektrische Eigenschaft durch blosse Berührung mit dem elektrischen Körper übertragbar sei; er lud so Metalldrähte und Hanfseile, leitete durch diese die Elektricität bis auf eine Entfernung einer Elle von dem elektrischen Körper fort, und erfand so die Mittheilung und Leitung der Elektricität. Hawksbee (1709) erkannte zuerst, dass Glas durch Reibung einen hohen Grad elektrischer Erregung annehme, und ersetzte in Guericke's Elektrisirmaschine demgemäss die Schwefelkugel durch eine Glaskugel, später durch einen Glascylinder.

Er machte die hochwichtige Beobachtung, dass durch die Berührung des elektrischen Körpers nicht allein, sondern auch durch die blosse Annäherung eines nicht elektrischen Körpers mit einem elektrischen, der erstere

in den elektrischen Zustand versetzt werden könne, und wurde so der Entdecker der elektrischen Induction oder der Erregung der Elektricität durch Vertheilung oder Influenz.

Hawksbee war auch der Entdecker der elektrischen Lichterscheinungen im luftverdünnten Raume. Er schüttelte Quecksilber, das in einer Glasröhre eingeschlossen war, die er mit der Luftpumpe evacuirte, erhielt dann ein bläuliches helles Licht, welches während des Schüttelns über das Quecksilber gegen die Röhrenwände zu hinschoss.

Eine ebenso wichtige Entdeckung machte bald darauf (1720) Stephan Gray, indem er eine vierthalb Fuss lange Glasröhre, welche an beiden Enden mit Korken verschlossen war, durch Reibung elektrisirte und beide Korke ebenso elektrisch fand, als die Röhre; er steckte dann in die Korke mehrere zolllange Holzstäbchen mit einer Elfenbeinkugel am Ende, und fand auch diese stark elektrisch, ebenso Messing und Eisendraht, den er in die Korke steckte, und durch Verlängerung derselben bis zu 20 Fuss Länge konnte er die Elektricität bis auf den Hof seines Hauses fortleiten. Mit einer auf horizontal gespannten Seidenschnüren liegenden Hanfschnur gelang es Gray und Wheeler, die Elektricität bis zu einer Elfenbeinkugel am Ende der Hanfschnur 80 Fuss weit zu leiten.

Dadurch zeigte er, dass die Seidenfäden nicht leiten, die Hanffäden aber die Elektricität fortleiten, und der Unterschied zwischen Körpern, welche die Elektricität fortzuleiten vermögen, den Leitern der Elektricität und jenen, die dieses Vermögen nicht zeigen, den Nichtleitern oder Isolatoren, war gefunden. Gray stellte später einen Knaben auf einen Harzkuchen und berührte ihn mit

der geriebenen Glasröhre, wodurch derselbe elektrisch wurde, was er dadurch nachwies, dass seine Haare auf 4 bis 8 Zoll Entfernung Goldblättchen anzogen. Damit war 1732 der Isolirschemel erfunden, ein wichtiges Mittel zum Studium elektrischer Erscheinungen. Auch fand Gray, dass ein gleich grosser hohler und massiver Würfel von Eichenholz gleich stark elektrisch werde bei Berührung mit der geriebenen Glasstange, woraus er schloss, dass die Elektrisirung von der Oberfläche, nicht von der Masse des elektrisirten Körpers abhängig sei.

Den Abschluss der Erfahrungen über die Grunderscheinungen der Elektricität bildeten aber zwei wichtige Entdeckungen Dufay's (geb. 1698 zu Paris).

Er hing eine Eisenstange an seidenen Fäden horizontal auf, lud sie durch Berührung mit einer geriebenen Glasröhre, die Elektricität strömte nun an daran befestigte Paare von Leinfäden, Baumwollfäden und Wollfäden, und er fand dass sie sich wohl abstossen, aber ungleich stark, am meisten die Leinfäden, am schwächsten die Wollfäden, woraus er schloss, dass sie ungleich viel Elektricität aufzunehmen vermögen, und dadurch den Grund legte zum Erkennen und Messen der Elektricitätszustände der Körper, sowie zur Construction der Elektroskope und Elektrometer.

Er fand ausserdem, dass die meisten festen Körper durch Reibung elektrisch werden können, mit Ausnahme der ganz weichen und der Metalle; ferner dass elektrische Körper alle anderen nicht elektrischen anziehen. Zugleich entdeckte er den Unterschied des elektrischen Zustandes verschiedener geriebener Körper, indem er eine geriebene Glasstange einem Goldblättchen näherte, so dass dieses schwebend erhalten wurde; näherte er nun ein Stück

Copalharz, das durch Reiben elektrisch geworden, dem Goldplättchen, so wurde es angezogen und blieb an dem Copalstücke hängen; näherte er aber eine geriebene Glasstange, so wurde dasselbe Blättchen fortgetrieben, d. h. abgestossen.

Hieraus schloss Dufay, dass es zwei elektrische Zustände gebe, deren einen er mit dem Namen Glaselektricität, den anderen mit jenem der Harzelektricität bezeichnete.

Dadurch ward der Grund gelegt zu der noch gegenwärtig herrschenden Ansicht über das Wesen und die Grunderscheinung des elektrischen Zustandes der Materie, die verschiedenen elektrischen Zustände, in die sie versetzt werden kann, und das verschiedene Verhalten der Körper in Bezug auf die Aufnahme der Elektricität bei der Berührung mit einem elektrischen Körper, welches zuerst Desagulier (1739) als elektrisches Leitungsvermögen bezeichnete und die Körper in zwei Gruppen theilte: die Leiter und Nichtleiter der Elektricität. Er war es auch, der erkannte, dass die trockene Luft zu den Nichtleitern gehört.

Der Fortschritt der Elektricitätslehre hielt natürlicherweise gleichen Schritt mit der Vervollkommnung der Mittel zu ihrer kräftigen Entwicklung: den Elektrisirmaschinen, und mit der genauen Messung mit Elektrometern, sowie mit der Erfindung anderer elektrischer Apparate, bestimmt, den elektrischen Zustand für längere Dauer zu erhalten oder in erhöhtem Masse den Körpern mitzutheilen.

2. Elektrische Grundversuche.

Betrachten wir die Körper, nachdem an ihnen durch Reibung der elektrische Zustand hervorgerufen worden,

so bemerken wir zuvörderst, dass von allen elektrischen Körpern unelektrische Körper jeder Art, wenn sie in Form von Pulver oder von leichten Spänen dem elektrischen Körper genähert werden, angezogen werden.

Diese Anziehung ist jedoch nicht dauernd, sondern geht in kurzer Zeit in Abstossung (Repulsion) über, indem die Theilchen von dem elektrischen Körper sich wieder entfernen. Berührt man dieselben mit einem Leiter der Elektricität und entzieht ihnen dadurch Elektricität, werden sie neuerdings von dem elektrischen Körper angezogen und nach einer Weile wieder abgestossen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt offenbar darin, dass die leichten Körperchen bei Berührung Elektricität aufnehmen, und Dufay schloss daraus, dass sich gleich elektrische Körper abstossen, elektrische Körper mit nicht elektrischen hingegen sich anziehen.

Aendert man den Versuch dahin ab, dass man durch Reibung zwei verschiedene Körper, z. B. eine Glas- und eine Harzstange, elektrisirt, und nähert man einen leichten Körper zuerst der Glasstange, z. B. einen langen dünnen Papierstreifen, so wird dieser angezogen, bald aber von der Glasstange wieder abgestossen; nähert man nun dem Papierstreifen eine geriebene Harzstange, so wird der Streifen sofort kräftig angezogen. Die Harzstange zieht also Körper an, welche vom geriebenen Glase Elektricität aufgenommen, woraus Dufay auf die Ungleichartigkeit der Glas- und Harzelektricität (électricité vitrée et résineuse) schloss und die Grunderscheinungen elektrischer Anziehung und Abstossung in den drei Sätzen aussprach:

1. Elektrische Körper ziehen alle nicht elektrischen an;
2. gleichartig elektrische Körper stossen sich ab;
3. ungleichartig elektrische Körper ziehen einander an.

Der Dufay'sche Versuch lässt sich sehr schön mit dem sogenannten elektrischen Pendel durchführen. An einem Seidenfaden, befestigt an einem Gestell mit Glasfuss, hängt eine Kugel von Hollundermark, und durch Berührung mit einem Glasstabe wird ihr Elektricität mitgetheilt.

Nähert man rasch den Glasstab, so wird das Kügelchen a als nicht elektrischer Körper angezogen, und nach Be-

Fig. 1.



rührung der elektrischen Glasstange nach a_2 hin abgestossen.

Tauscht man die Glasstange g mit einer geriebenen Harzstange aus, so wird die abgestossene, in der Lage a_2 schwebende Hollundermarkkugel sogleich kräftig nach der Harzstange hin angezogen.

Ist die Harzstange hinreichend stark elektrisch, so wird die an derselben hängende Hollundermarkkugel nach einiger Zeit wieder abgestossen, muss also die Glas-

elektricität vollkommen verloren und Harzelektricität angenommen haben.

Die beiden Elektricitäten verhalten sich also als Gegensätze, indem der eine elektrische Zustand den anderen aufzuheben vermag.

Die Abstossung findet daher immer zwischen zwei gleichartig elektrischen Körpern statt, während die Anziehung sowohl zwischen ungleichartig elektrischen als zwischen elektrischen und nicht elektrischen Körpern stattfindet.

Diese letztere Anziehung fällt jedoch mit der Anziehung zusammen, im Falle zwei ungleichartig elektrische Körper genähert werden. Dies wies zuerst Canton (1735) nach. Er zeigte, dass man demselben Harzstabe jeden der beiden elektrischen Zustände und auch beide zugleich ertheilen könne.

Rieb er eine Harzstange schwach, so wurde sie harzelektrisch, berührte er dann das eine Ende derselben längere Zeit mit einer stark elektrisirten Glasstange, so zeigte dieses Ende Glaselektricität, das andere Harzelektricität.

Ferner nahm Canton wahr, dass eine matt geschliffene Glasstange mit Flanell gerieben Harzelektricität, mit Seide oder Wachstaffet gerieben hingegen Glaselektricität annehme. Auch andere Körper zeigten ähnliches Verhalten, wenn ihre Oberflächen verändert, oder ein anderer Körper zum Reiben, ein anderes Reibzeug, angewendet wurde.

Glaselektricität und Harzelektricität sind also nicht an diese Substanzen gebundene elektrische Zustände, vielmehr kann Glas und Harz beide Zustände je nach Umständen zeigen. Man nennt die beiden entgegen-

gesetzt elektrischen Zustände der Materie positive und negative Elektricität; nämlich jene, welche polirte Glasstangen mit Flanell gerieben zeigen: positive; jene, welche unter gleichen Umständen Harzstangen zeigen: negative Elektricität. Es zeigte sich schon bei den Versuchen Canton's, dass der eine Körper, der geriebene, die eine Elektricität, der reibende, das Reibzeug, die entgegengesetzte Elektricität zeige.

So ist die Wolle negativ, die damit geriebene Glasstange positiv elektrisch, die Harzstange negativ, das Reibzeug aus Wolle oder Seide positiv elektrisch.

Aepinus zeigte (1759) zuerst, dass zwei kreisrunde Scheiben, die eine von Spiegelglas, die andere von Holz mit Wolle überzogen, und beide an Glasstangen befestigt, mit denen man sie in der Hand hält und gegeneinander drückt, gleich starke und entgegengesetzte elektrische Zustände annehmen.

Nähert man eine Scheibe nach der anderen einem elektrischen Pendel, wie im Dufay'schen Grundversuche, so zeigen beide entgegengesetzte elektrische Zustände an.

Legt man beide, von neuem geriebene Scheiben aneinander und nähert sie vereint dem Pendel, so zeigt dieses keine Elektricität an, die geringste Trennung beider Scheiben voneinander afficirt aber das elektrische Pendel.

Daraus geht hervor, dass die Wirkung der Glasscheibe auf das Pendel jene der Wollscheibe gerade aufhebt, was nur dadurch erklärt werden kann, dass die positiv elektrische Glasscheibe in dem unelektrischen Hollundermarkkügelchen die Elektricität durch Vertheilung bei der Annäherung hervorruft. Da entgegengesetzte elektrische Zustände Anziehung bewirken, so braucht man

nur anzunehmen, dass der unelektrische Zustand der Materie in der Vereinigung beider entgegengesetzter und gleich starker elektrischer Zustände bestehe, wie an der geriebenen Glas- und Tuchscheibe, welche vereint keine Anziehung auf das Pendel ausüben.

Jede Trennung bringt aber sogleich das Hervortreten beider elektrischen Wirkungsweisen zu Tage.

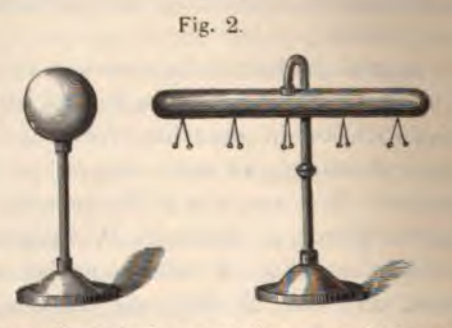
Nähert man daher einen z. B. positiv elektrischen Körper einem nicht elektrischen, so werden in diesem beide noch vereinte elektrische Zustände getrennt, indem der entgegengesetzte Anziehung, der gleichnamige aber Abstossung erfährt.

Reibt man die beiden Scheiben aneinander und nähert sie dann vereint gleichmässig dem Pendel, so wird also die positive Scheibe in derselben Weise auf die noch ungetrennten Zustände des nicht elektrischen Hollundermarkkügelchens einwirken, wie die Wollscheibe, nur in entgegengesetztem Sinne, so dass beide Wirkungen sich aufheben; trennt man aber die beiden geriebenen Scheiben voneinander, so wird die Wirkung der einen und anderen auf die noch ungetrennten elektrischen Zustände des Hollundermarkkügelchens verschieden ausfallen und das Pendel also nicht mehr unelektrisch bleiben, sondern, je nachdem die Wirkung der einen oder anderen Scheibe vorherrscht, die positive oder negative Erregung an der den Scheiben zugekehrten Seite erfahren, die abgewendete muss also den entgegengesetzten und gleich starken elektrischen Zustand aufweisen. Entfernt man die Scheiben von dem Pendel, so wird auch die Wiedervereinigung beider elektrischen Zustände im Kügelchen stattfinden, und dieses sich wieder wie ein nicht elektrischer Körper verhalten.

Diese Art der Elektricitätserregung bringt als Trennung und Ansammlung der beiden Elektric an verschiedenen Stellen des Körpers hervor, elekt Vertheilung genannt.

Noch besser lässt sich der Nachweis, dass di ziehung elektrischer und nicht elektrischer Körper Folge der elektrischen Vertheilung oder Inductio mittelst eines metallischen Cylinders mit abgerur Enden, welcher auf einem Glasfusse in horizontaler ruht, führen.

Fig. 2.



An demselben sind am vorderen und hinteren rundeten Ende zwei an Leinenfäden nebeneinander gende Hollundermarkkügelchen angebracht, ebenso der Mitte des Cylinders.

Nähert man eine geriebene Glasstange dem Cyl in seiner Axe, so sieht man die elektrischen Pend beiden Enden stark divergiren, während in der Mit den Pendeln kaum eine Wirkung wahrzunehmen is

Prüft man nun jedes der an beiden Enden befest Pendel mit einer geriebenen Glas- oder Harzstang findet man, dass die Pendel am vorderen Ende negativ elektrisch geworden sind, während am an

Ende die Pendel, mit positiver Elektricität geladen, divergiren. Es hat sich also an dem der Glasstange zugekehrten Ende negative Elektricität angesammelt, am abgewendeten Ende hingegen die positive Elektricität.

Zwischen beiden Enden in der Mitte findet sich weder der eine noch der andere Zustand und dieser Theil verhält sich neutral oder nullelektrisch.

Prüft man die Zwischenlagen, so findet man nach der Mitte zu stetige Abnahme beider elektrischer Zustände.

3. Hypothesen.

Um eine klare Einsicht in das Wesen der elektrischen Erscheinungen zu gewinnen, waren die Physiker bemüht, eine Hypothese über das Wesen der Elektricität aufzustellen, um sie zur Grundlage einer mathematischen Theorie der elektrischen Erscheinungen zu machen. Die ersten noch sehr unvollkommenen Versuche in dieser Richtung machten schon Boyle und Gilbert, indem sie ein Effluvium von Dämpfen der durch Reibung erwärmten Körper annahmen, das durch den Widerstand der Luft und die Abkühlung wieder zum elektrischen Körper zurückzukehren gezwungen sei und dabei eine wirbelnde Bewegung erzeuge.

Später hat Hawksbee angenommen, das Effluvium gehe in geraden Linien vom Mittelpunkte gegen die Peripherie und erzeuge eine Verdünnung des umgebenden Mittels, z. B. der Luft; der Rückstoss der fortgetriebenen verdichteten Luft müsse die Richtung haben von der Peripherie zum Mittelpunkte, und treibe daher die nahen leichten Körperchen in dieser Richtung gegen den Mittelpunkt.

Abbé Nollet sprach die Meinung aus: „der ausfliessenden Materie aus einem elektrischen Körper entspreche wieder eine zufliessende, welche unausgesetzt das Ausfliessende wieder ersetzt, denn nur so könne erklärt werden, dass ein Körper sein Gewicht nicht ändere, wenn er in den elektrischen Zustand überführt werde". Allein durch diese Hypothesen konnten wohl die Phänomene der elektrischen Anziehung eine Erklärung finden, schwieriger oder gar nicht die Erscheinungen der Abstossung.

Erst Franklin (1749) stellte eine befriedigende Annahme über das Wesen der Elektricität auf, indem er annahm, die Elektricität sei ein ausserordentlich feines Fluidum, das alle Körper zu durchdringen vermöge, ohne einen merklichen Widerstand zu finden. Er nahm ferner an, dass die unendlich feinen Theilchen dieses Fluidums sich gegenseitig abstossen, während sie von den materiellen Theilchen der Körper kräftig angezogen werden; jeder Körper enthalte so viel Elektricität, als er unter den gegebenen Verhältnissen anzuziehen und aufzunehmen vermag. Wird durch irgend eine äussere Ursache einem Körper noch weiter elektrisches Fluidum zugeführt, so sammle sich dasselbe ohne in den Körper zu dringen auf seiner Oberfläche an und der Körper werde elektrisch.

Im unelektrischen Zustande, sagt Franklin, enthält der Körper die normale Elektricitätsmenge; führt man weiterhin elektrisches Fluidum zu, lade sich der Körper positiv elektrisch, entziehe man ihm aber durch äussere Einwirkung einen Theil des vorhandenen elektrischen Fluidums (der normalen Elektricität), so lade er sich negativ elektrisch.

Diese Hypothese genügte nun zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen der Anziehung und Abstossung, so dass eine allgemeine Theorie der elektrischen Erscheinung auf diese Hypothese gegründet werden konnte.

Etwas später (1759) stellte Symmer auf Grund der Beobachtungen Dufay's eine andere Hypothese auf, indem er zu der Annahme berechtigt zu sein glaubte, Dufay's Beobachtungen liessen sich überhaupt nicht unter der Voraussetzung eines einzigen elektrischen Fluidums erklären, sondern die zwei verschiedenen elektrischen Zustände seien nur dann erklärlich, wenn man die Existenz zweier verschiedener elektrischer Fluida annehme, deren Verbindung den nicht elektrischen, deren Trennung aber den elektrischen Zustand bedinge.

Nach ihm stossen sich die Theilchen jedes Fluidums untereinander ab, die Theilchen der verschiedenen Fluida üben aber aufeinander Anziehung aus; ferner ziehen sich die Theilchen beider Fluida und die materiellen Theilchen der Körper gegenseitig an.

Bis jetzt ist eine Entscheidung zwischen beiden Hypothesen, wie etwa zwischen den beiden Lichthypothesen, nicht gefallen, indem es möglich ist, gleich gut unter der einen und anderen Annahme die elektrischen Erscheinungen zu erklären.

Der Geist der Neuzeit und der gewaltige Fortschritt der Physik treiben immer mehr zur Ansicht der Einheit der Kraft und der Materie, und wiewohl wir noch durch die Annahme des überallhin im Raume vertheilten Aethers die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme erklären, so scheint es doch zufolge der grossen Analogien, welche die Neuzeit zwischen Licht und Wärme aufgedeckt, und den engen Beziehungen, die überhaupt zwischen den

anscheinend so verschiedenen Erscheinungen des Lichtes, der Wärme, der Elektricität und des Magnetismus auftreten, zweifellos, dass man mit einem Fluidum, dem Aether, sein Ausreichen finden kann, wenn überhaupt die Annahme einer nicht ponderablen Wesenheit eine Berechtigung hat.

Es wird auch vorzuziehen sein, blos ein elektrisches Fluidum zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen heranzuziehen, um darauf die Theorie derselben fest zu begründen. Es ist auch gleichgiltig, ob man die Ansammlung eines Ueberschusses von Elektricität, wie Franklin bei positiv elektrischen Körpern annimmt, oder die Ansammlung von positiv elektrischem Fluidum nach Symmer als positiven elektrischen Zustand erklärt, als negativen nach Franklin die Abnahme der normalen Elektricität, oder nach Symmer die Ansammlung negativer Elektricität an einem Körper bezeichnet.

Auch die mathematische Theorie gelangt nach beiden Annahmen zu denselben Endresultaten, und dies ist der Grund, dass sich der eigentlich von Symmer's Hypothese hergeleitete Sprachgebrauch allgemein eingebürgert hat, die verschiedenen elektrischen Zustände als positive und negative zu bezeichnen, auch unter Annahme nur eines elektrischen Fluidums.

Erster Abschnitt.

Die Grundgesetze der Spannungselektricität.

4. Das Fernwirkungsgesetz.

Die Wirkung einer jeden Kraft wird gemessen durch die Grösse der bewegten Masse und die ihr ertheilte Geschwindigkeit. Ist die Kraft eine fernwirkende, wie dies unzweifelhaft bei der elektrischen Anziehung und Abstossung der Fall ist, so nimmt die Wirkung mit dem Quadrate der Entfernung ab.

Es treten hierbei nach Franklin's Hypothese dreierlei fernwirkende Kräfte auf: die Anziehung der ponderablen Theilchen des Körpers und die Anziehung der Massentheilchen auf die Theilchen des elektrischen Fluidums als Anziehungskräfte, hingegen die abstossende Wirkung der elektrischen Theilchen als Abstossungskraft.

Letztere wird daher durch das entgegengesetzte Zeichen ihres mathematischen Ausdruckes charakterisirt. Nun nehmen wir an, dass die Anziehung der Einheit der Masse auf dieselbe Masseneinheit in der Einheit der Entfernung durch G bezeichnet werde, die Anziehung der elektrischen Masseneinheit auf die Einheit der Körpermasse in der Einheit der Entfernung mit g und die Abstossung der Einheit der elektrischen Masse auf die Einheit der elektrischen Masse in der Einheit der Entfernung mit γ, so ist die Wirkung einer Körpermasse M

und einer elektrischen Masse m auf eine elektrische Masse m' in der Entfernung r:

$$R = \frac{m' M}{r^2} \gamma - \frac{m m'}{r^2} g = \frac{m'}{r^2} \left(M\gamma - mg \right)$$

Im unelektrischen Zustande ist die Wirkung der Resultirenden $R = o$, also muss

$$M\gamma = mg \text{ oder}$$

$$\frac{m}{M} = \frac{\gamma}{g} \text{ sein.}$$

Nach Franklin's Hypothese ist daher die Resultirende dieser Kräfte gleich Null oder der Körper im unelektrischen Zustande, sobald die Körpermasse zu der darin enthaltenen elektrischen Masse in einem bestimmten constanten Verhältnisse steht.

Nehmen wir nun an, zwei Körper wirken aufeinander, deren ponderable Massen M und M_1, die elektrischen Massen m und m' seien, so muss ebenso:

$$\frac{m}{M} = \frac{m'}{M'} = \frac{\gamma}{g} \text{ gleich einer Constante sein.}$$

Ist nun ein Körper elektrisch geworden, so hat seine elektrische Masse zu- oder abgenommen, und dann hat z. B. der erste Körper, dessen Masse M ist, die elektrische Masse $m + \mu$, der zweite, dessen Masse M', aber die Masse $m' + \mu'$, wenn beide gleichnamige hier positive Elektricität besitzen. Der erste könnte ebenso $m - \mu$, der zweite $m' - \mu'$ elektrischer Masse enthalten, d. h. im Allgemeinen könnten die elektrischen Massen beider $m \pm \mu$ oder $m' \pm \mu'$ betragen.

Wirkt die Masse $M + m$ auf die Masse M' allein, so ist nach Obigem die Resultirende:

$$R = \frac{G}{r^2} M M' + \frac{\gamma}{r^2} m M'$$

der Entfernung r beider Körper voneinander. Nun ist:

$$= \frac{MM'}{r^2}\left(G + \gamma\,\frac{m}{M}\right) = \frac{MM'}{r^2}\left(G + \frac{\gamma^2}{g}\right), \text{ weil:}$$

$$\frac{m}{M} = \frac{\gamma}{g} \text{ ist.}$$

Hingegen sind die Wirkungen der Massen $M + m$ f m' und auf μ' verschwindend. Die Wirkung des eberschusses elektrischer Masse auf $M' + m' + \mu'$ ist ieder Null in Bezug auf $M' + m'$, nicht so die Wirmg des elektrischen Ueberschusses je auf den elektrischen eberschuss des zweiten Körpers μ'. Diese Wirkung eine Abstossung und wird wie oben gemessen durch n Ausdruck:

$$\varphi = \frac{g\,\mu\mu'}{r^2}.$$

Die Resultante aller dieser Einzelwirkungen der bein elektrischen Körper im Abstande r voneinander ird also sein:

$$R_1 = \frac{MM'}{r^2}\left(G + \frac{\gamma^2}{g}\right) - g\,.\,\frac{\mu\mu'}{r^2}.$$

Da eine Abstossung zwischen den Körpern eintritt, ı Falle beide denselben elektrischen Zustand haben, so für beide μ oder μ' positiv oder negativ genommen erden, so muss auch R_1 negativ sein, d. h. die Wirkung r elektrischen Kraft muss viel grösser sein, als die reinte anziehende Wirkung der Körpermassen und ne zwischen den Körpermassen und ihren elektrischen assen.

Die elektrische Kraft ist also viel grösser, als die 'irkung der Schwerkraft, daher auch die auf die Einheit r Entfernungen bezogenen accelerirenden Wirkungen

g und γ viel kleiner sein müssen, als jene der Elektricität g auf dieselbe Einheit bezogen.

Da die Erfahrung zeigte, dass jede elektrische Wirkung im absolut leeren Raume, wo alle Materie oder ponderablen Theilchen fehlen, aufhört, so kann unter elektrischem Fluidum nichts von der Materie Trennbares gedacht werden, sondern man hat unter der einem Körper inhärenten Elektricität die Summe des die einzelnen ponderablen Theilchen gleichsam als atmosphärische Hülle umgebenden elektrischen Fluidums sich vorzustellen. Fehlen dann die ponderablen Theilchen in einem Raume, so sind dort auch keine Aetherhüllen vorhanden und eine elektrische Wirkung wird im leeren Raume undenkbar.

Alle elektrischen Phänomene lassen sich daher blos unter der Annahme erklären, dass die ponderablen Theilchen von den Aetherhüllen in Folge der Anziehung zwischen beiden stets umgeben seien, dass diese Anziehung im Verhältnisse der Quadrate der Entfernungen abnehme und dass sich die Aetherhüllen im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Massen und der inversen Quadrate ihrer Abstände abstossen.

5. Messinstrumente.

Die Wirkungen elektrischer Körper zu untersuchen und zu messen, wurden besondere Messinstrumente construirt, die man als Elektroskope und Elektrometer bezeichnet.

Das einfachste derartige Instrument ist das Elektroskop, welches die Art der elektrischen Ladung, ob positiv oder negativ, erkennen, und zur Noth auch den Grad

der elektrischen Ladung bestimmen lässt. Für genaue Messungen dient jedoch das Elektrometer.

Das einfachste Elektroskop ist das Goldblatt-Elektroskop von Benett, eine Glasglocke, oben durchbohrt, um einen Messingdraht mit einer Metallkugel am oberen Ende durchstecken zu können. Der Draht steckt in einer Glasröhre, welche in die Glockenöffnung mit Schellack eingekittet wird, sowie auch der Draht mit Schellack luftdicht in der Röhre befestigt ist. Am unteren Ende keilförmig zugeschärft, trägt er zwei feine Goldblättchen, 20 bis 30 Mm. lang, welche im unelektrischen Zustande parallel herabhängen. Häufig ist hinter demselben ein getheilter Kreisbogen, dessen Mittelpunkt im Berührungspunkte beider Blättchen liegt, so angebracht, dass man daran die Divergenz beider Blättchen ablesen und den elektrischen Wirkungsgrad beiläufig abschätzen kann. Dadurch wird das Elektroskop zugleich eine Art Elektrometer. Der obere Theil der Glasglocke zunächst dem Zuleitungsdrahte ist mit Schellack gefirnisst, um die atmosphärische Feuchtigkeit von der Oberfläche des Glases abzuhalten.

Fig. 3.



Die Glocke ist luftdicht in einen metallenen Fuss eingepasst, der innen in gleicher Distanz von den Blättchen zwei Metallsäulchen trägt, an die bei zu kräftiger Ladung die Goldblättchen anstossen müssen, wodurch

sie ihre Elektricität an dieselben und den mit ihnen metallisch verbundenen Fuss abgeben und verhindert werden, sich an die Glaswand anzulegen, wo sie fest kleben bleiben und leicht abreissen, wenn man versucht, sie durch Klopfen an die Glaswand oder durch Neigen des Instrumentes frei zu machen.

Nähert man einen elektrischen Körper der Kugel des Elektroskopes, so wird die ungleichnamige Elektricität angezogen und im Knopfe sich ansammeln; in Folge der Vertheilung der Elektricität hingegen die gleichnamige in den Goldblättchen sich ansammeln, diese also sich mit derselben Elektricität laden und einander abstossen, divergiren, mit welcher der genährte Körper geladen ist; entfernt man ihn, hört die Vertheilung zu wirken auf und die Blättchen sinken zusammen. Berührt man den Knopf mit dem elektrischen Körper, so theilt dieser seine Elektricität dem Elektroskop mit und die Blättchen divergiren abermals, mit derselben Elektricität geladen, die der Körper hat.

Berührt man mit einem Leiter, z. B. dem Finger, den Knopf des Elektroskopes, während man einen elektrischen Körper nähert, so werden die Blättchen zusammenfallen, entfernt man ihn hierauf früher als den elektrischen Körper vom Elektroskope, so bleiben die Blättchen mit der entgegengesetzten Elektricität geladen, welche der vertheilende oder inducirende Körper besitzt. Die Blättchen divergiren dann nach der Entfernung des elektrischen Körpers abermals, sind aber mit der entgegengesetzten Elektricität geladen, als der vertheilend wirkende Körper.

Es ging also auf den berührenden Leiter, Finger u.s.w. die vom Körper nach den Blättchen zu abgestossene

Elektricität über, die angezogene verblieb im Elektroskop, sie war also nicht frei, und man sagt daher, sie sei durch den vertheilend wirkenden Körper gebunden.

Nähert man nun einem so geladenen Elektroskope einen elektrischen Körper, dessen Ladung noch unbekannt ist, und sinken die Blättchen zusammen, so ist der Körper gleichnamig elektrisch geladen, divergiren sie noch mehr, so hat er den ungleichnamigen elektrischen Zustand.

Coulomb's Elektrometer. Das erste genaue Messinstrument für elektrische Wirkungen verdanken wir Coulomb, welcher die Torsionselasticität eines gedrehten Fadens oder dünnen Drahtes (Silberdrahtes) zum Messen der elektrischen Wirkung benutzte. Er war es, der zuerst messend die Gesetze der elektrischen Wirkungen mit der nach ihm benannten Coulomb'schen oder Torsionswage nachwies. Er wurde hierzu wohl durch die Arbeiten von Cavendish über die Bestimmung der Attraction mittelst eines an einem feinen Faden hängenden leichten Wagebalkens geleitet.

Ein etwa 30 Cm. hoher Glascylinder von ebenso grossem Durchmesser ist oben mit einer in der Mitte kreisrund durchbohrten Glasplatte geschlossen, welche eine etwa 4 Cm. im Lichten haltende Glasröhre trägt, die mit ihrer Messingfassung mit Schellack eingekittet wird.

Die Röhre ist etwa 60 bis 70 Cm. hoch, und trägt am oberen Ende einen Torsionskreis mit Nonius, um am Limbus desselben noch Zehntelgrade ablesen zu können.

Der Nonius ist an einem cylindrischen Stifte befestigt, dessen Axe durch die Mitte des Theilkreises geht. In seiner Axe durchbohrt, dient der Stift dazu, den Faden oder Silberdraht der Torsionswage in der Bohrung einzuziehen und zu befestigen.

Das andere Ende des Fadens oder Drahtes trägt den Wagebalken so, dass eine an demselben in der Mitte angebrachte Klemme das Fadenende festhält.

Der senkrecht hängende Faden muss die Axe der cylindrischen und auf der Peripherie getheilten Hülse bilden und der Wagebalken genau balancirt in horizontaler Lage sich befinden.

Fig. 4.



Eine zweite seitliche Oeffnung in der Glasscheibe lässt einen Messingdraht in das Innere treten, der mit einer Kugel oben und unten endet. Der Mittelpunkt dieser Kugel wird in die Fläche der Kreistheilung am Cylindergefässe gebracht. Der Wagebalken besteht aus einem feinen Schellackfaden oder einem schellackirten Strohhalm, an dessen einem Ende ein Hollundermarkkügelchen, dem am anderen ein kreisförmiges Papierscheibchen, das ebenfalls lackirt ist, das Gleichgewicht hält, angebracht wurde.

Der Berührungspunkt beider Kugeln, wenn der Faden keine Torsion hat, wird auf den Nullpunkt der Cylindertheilung eingestellt. Zu diesem Behufe kann die cylindrische Röhre, welche den getheilten Torsionskreis trägt, in der Messingfassung der Röhre gedreht werden, so dass der auf Null gestellte, am cylindrischen Stifte befestigte Nonius seine Lage nicht ändert. So kann ohne

Erzeugung von Torsion das Hollundermarkkügelchen mit der Messingkugel in Contact gebracht werden.

Wird diese geladen, so erfolgt Abstossung des Wagebalkens, und durch Drehung des Stiftes kann derselben vermöge der entstehenden Torsionselasticität des Silberdrahtes entgegengewirkt werden. Dadurch wird das Hollundermarkkügelchen um eine gewisse Zahl von Graden der Messingkugel am Zuleitungsdrahte genähert werden.

Macht man eine Reihe solcher Versuche bei derselben Ladung, z. B. war die Lage des abgestossenen Kügelchens 36 Grad vom Nullpunkte der Cylindertheilung, und hat man dann den Abstand auf 18 Grad reducirt, wie es Coulomb selbst that, so musste der Cylinderstift am Torsionskreise um 126 Grad gedreht werden; um dann weiter auf 8·5 Grad vermindert zu werden, war eine weitere Drehung desselben um 441 Grad nothwendig. So lange die Winkel nicht zu gross werden, kann man aber die Abstände der Kugeln der Winkelablenkung proportional nehmen, folglich verhalten sich die Abstände der sich abstossenden elektrischen Kugeln wie $1 : {}^1/_2 : {}^1/_4 = 4 : 2 : 1$.

Nach den Gesetzen der Torsionselasticität ist aber die Torsionskraft proportional den Torsionswinkeln für denselben tordirten Faden oder Draht. Da nun die Abstossungkräfte durch die bei den Torsionswinkeln: 36 Grad, dann $126 + 18^0 = 144^0$ und $441 + 126 + 8{\cdot}5 = 575{\cdot}5^0$ entstehenden Elasticitätskräfte im Gleichgewicht gehalten werden, die obigen Winkelgrössen aber:

$$36^0 \times 1 = 36^0$$
$$36^0 \times 4 = 144^0$$
$$36^0 \times 16 = 576^0$$

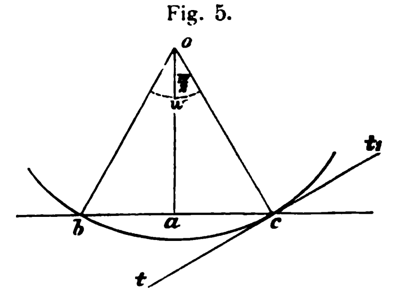
darstellen, so müssen die Abstossungskräfte in diesen drei Lagen wie:

$$1 : 4 : 16 = 1^2 : 2^2 : 4^2$$

sich verhalten, woraus **Coulomb** schloss, dass die elektrische Wirkung zwischen den beiden Kugeln umgekehrt den Quadraten ihrer Entfernung proportional sein müsse.

Nehmen wir an, in o sei der Drehpunkt des Wagebalkens, in a der Nullpunkt, auf den er eingestellt worden, b seine Lage nach der Ladung, so ist der $\measuredangle\, cob = w$ der Abstossungswinkel, welcher an der Cylindertheilung abgelesen werden kann.

Fig. 5.



Ist die Länge des halben Wagebalkens $oc = l$, zieht man die Lothrechte oa auf die Sehne bc, welche den Winkel w halbirt, so ist:

$$ac = \frac{bc}{2} = l \sin \frac{w}{2} \text{ und } oa = l \cos \frac{w}{2}.$$

Wäre die abstossende Kraft in der Einheit der Entfernung e, so ist sie in der Entfernung cb beider Kugeln:

$$K = \frac{e}{bc^2} = \frac{e}{4\, l^2 \sin^2 \frac{w}{2}}.$$

Das am Hebelarme wirkende Moment der Drehkraft für die Einheit der Entfernung ist aber nicht, wie oben

angenommen wurde, $co \times e$, sondern diese Kraft e ist mit dem Hebelarme, d. h. der Lothrechten oa zu multipliciren, daher ist das Drehungsmoment in der Entfernung ab:

$$M = K \times oa = \frac{e\,l\cos\frac{w}{2}}{4\,l^2 \sin^2\frac{w}{2}} = \frac{e\cos\frac{w}{2}}{4\,l \sin^2\frac{w}{2}}.$$

Das Drehungsmoment: $M = \dfrac{e}{4\,l \sin\frac{w}{2}\, tg\frac{w}{2}}$ misst also die Grösse der elektrischen Abstossung am Wagebalken selbst.

Ist nun das durch Torsion hervorgerufene Drehungsmoment am Wagebalken für die Einheit der Entfernung t, wofür man das Drehungsmoment zu dem Torsionswinkel von 1 Grad gehörig nimmt, so wird dieses Drehungsmoment für m Grad sein: $M' = m\,.\,t$; nun müssen aber im Falle des Gleichgewichtes des Wagebalkens beide Drehungsmomente einander gleich sein: $M = M'$, also auch:

$$\frac{e}{4\,l \sin\frac{w}{2}\, tg\frac{w}{2}} = m\,t.$$

Diese Gleichung kann man auch schreiben wie folgt:

$$\frac{e}{4\,lt} = m \sin\frac{w}{2}\, tg\,\frac{w}{2}.$$

Die linke Seite der Gleichung ist constant für eine bestimmte Ladung der Kugeln, also muss auch die rechte Seite eine constante sein:

$$C = m \sin\frac{w}{2}\; tg\,\frac{w}{2}.$$

Für sehr kleine Winkel kann die Tangente und der Sinus dem Winkel gleichgestellt werden, und es ist dann

$$C = m \frac{w^2}{4}$$

$$4\,C = C_1 = m\,w^2,$$

woraus für zwei Gleichgewichtslagen des Wagebalkens folgt:

$$m\,w^2 = m'\,w'^2 \text{ oder:}$$

$$m : m_1 = \frac{1}{w^2} : \frac{1}{w_1{}^2}.$$

Bei kleinen Winkeln können aber die Winkel-Abstände den Kugelabständen gleichgesetzt werden, woraus dann das Gesetz folgt:

$$m : m_1 = \frac{1}{r^2} : \frac{1}{r_1{}^2} \doteq e : e_1,$$

weil die Torsionskräfte den elektrischen Abstossungskräften gleichwerthig und den Torsionswinkeln proportional sind.

Ladet man die Kügelchen so, dass das eine positiv, das andere negativ elektrisch wird, so ziehen sie sich an, und durch Torsion des Fadens in gegen die frühere entgegengesetzter Richtung kann man den Wagebalken in verschiedenen Lagen zur Ruhe bringen. Der Versuch zeigt dann, dass für die elektrische Anziehung dasselbe Gesetz giltig ist, wie für die elektrische Abstossung.

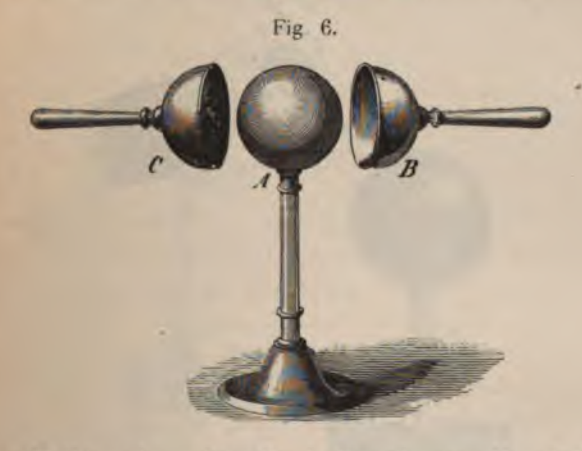
6. Gesetze der Oberflächenspannung.

Nimmt man zwei gleich grosse isolirte Metallkugeln (Kugeln aus Messingblech, auf einem Glasstabe als isolirendem Fusse befestigt, eignen sich hierzu am besten), elektrisirt die eine und misst ihre Wirkung an der Coulomb'schen Drehwage, berührt hierauf die Kugel mit der anderen gleich grossen, so zeigt die Drehwage, dass die elektrische

Abstossung genau auf die Hälfte reducirt wird. Beide Kugeln haben sich also in die Elektricität getheilt und jede hat genau die Hälfte davon.

Nimmt man eine der so isolirten Metallkugeln, ladet und bedeckt sie mit genau darauf passenden metallenen Hohlkugeln, die an isolirenden Griffen befestigt sind, so findet man nicht nur, dass die Elektricität auf die Hohlkugel übergegangen ist, sondern nach Entfernung der bei-

Fig 6.



den Halbkugeln zeigt die isolirte innere Kugel keine Spur von Elektricität, wenn man sie mit einem Elektroskope prüft.

Es ist sonach alle Elektricität auf die Oberfläche der Hohlkugel übergegangen.

Nimmt man eine geladene Hohlkugel auf isolirendem Stative, die oben eine hinreichend grosse Oeffnung hat, um mit dem Probescheibchen (ein kreisförmiges Kupferplättchen an isolirendem Glasgriff) in das Innere gelangen zu können, berührt die innere Fläche der Hohl-

kugel und prüft das herausgehobene Probescheibchen am Goldblatt-Elektroskope, so findet man es unelektrisch. Berührt man aber die äussere Oberfläche derselben mit dem Scheibchen, so ist dieses stark geladen.

Faraday hat dieses Experiment mannigfaltig abgeändert, immer mit demselben Erfolge; am eclatantesten ist

Fig. 7.



der Versuch mit dem Leinenbeutel von conischer Form, an dessen Spitze *s* beiderseits ein isolirender Seidenfaden angebracht ist. Sein unteres Ende ist auf einen durch Glasfuss isolirten Metallring aufgespannt. Ladet man den Beutel in einer Lage, so findet man seine äussere Fläche elektrisch, die innere, mit dem Probescheibchen geprüft, unelektrisch.

Zieht man den Beutel am anderen Seidenfaden durch den Ring durch, so dass die äussere Fläche nun zur inneren wird, so ist diese nun unelektrisch, alle Elektricität findet sich wieder an der äusseren Oberfläche des leinenen Conus angesammelt.

„Die Spannungselektricität hat also ihren Sitz blos an der Oberfläche des geladenen Körpers."

Das Oberflächengesetz verliert seine Giltigkeit für den Fall, dass zwei entgegengesetzt elektrische Körper in

Fig. 8.



Berührung gebracht oder durch einen Leiter verbunden werden, denn dann entscheidet für die elektrische Wirkung nicht die Oberfläche, sondern der Querschnitt der Körper, in dem die Ausgleichung beider elektrischen Zustände stattfindet, die elektrische Entladung oder der elektrische Strom entsteht.

Ferner kann Elektricität durch Vertheilung in einem hohlen Körper auch an der Innenseite stattfinden, wenn ihr ein isolirter Körper genähert wird, wie Faraday durch nachfolgendes Experiment bewiesen hat:

Ein oben offenes cylindrisches Hohlgefäss auf isolirendem Glasfusse wird an der Innenfläche negativ elektrisch, wenn in das Innere eine positiv geladene, an isolirendem Seidenfaden hängende Kugel eingehängt wird, während die äussere Fläche, mit einem Probescheibchen oder Elektroskope geprüft, sich als positiv elektrisch erweist.

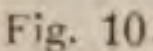
Fig. 9

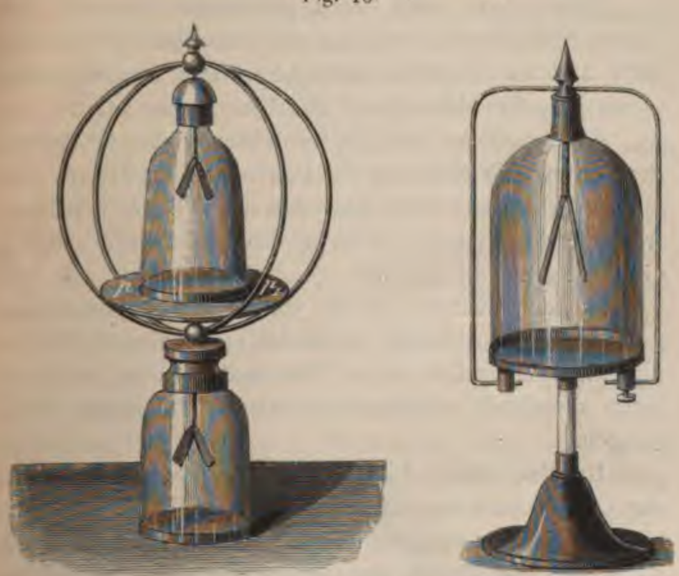


Dieses Verhalten der Spannungselektricität oder, wie sie auch bezeichnet wird, der statischen Elektricität unterscheidet sich demnach wesentlich von der strömenden oder dynamischen Elektricität.

Die Spannungselektricität zeigt daher ein ganz ähnliches Verhalten wie die Schwerkraft. Denken wir uns eine isolirte Hohlkugel elektrisirt, so vertheilt sich die elektrische Ladung blos auf der Oberfläche und ganz gleichförmig, wie man sich mittelst der Drehwage und einem Probescheibchen überzeugen kann; wo immer man damit die Oberfläche berührt und an der Drehwage hierauf prüft, immer wird dieselbe elektrische Wirkung gefunden werden. Ferner ist die Wirkung nach innen zu auf jedem Punkte hin Null, dasselbe findet bekanntlich bei der Wirkung der Massenattraction statt, welche an dasselbe Fernwirkungsgesetz gebunden ist. Eine Hohlkugel bewirkt durch ihre Masse keine Anziehung auf einen innerhalb derselben befindlichen materiellen Punkt. Dieses Verhalten der Spannungselektricität lässt sich sehr gut mit dem Apparate

von Zenger nachweisen. Ein empfindliches Elektroskop ist mit zwei oder vier symmetrisch zu den Goldblättchen, welche gleichsam die Axe eines Rotationskörpers, einer Kugel oder eines Paraboloids u. s. w. bilden, angeordneten Leitungsdrähten umgeben, welche an der Metallplate $p\ p_1$ befestigt sind.


Fig. 10



Von dieser Platte gehen die Leitungsdrähte zu einem zweiten Elektroskope, aus einer Glasflasche gebildet, welche den isolirenden Fuss des Apparates darstellt.

Nähert man dem Knopfe oder den Leitungsdrähten oder der Platte pp_1 eine geriebene Glasstange, so findet keine Spur elektrischer Einwirkung an dem oberen durch die symmetrisch angeordneten Leiter geschützten Elek-



[illegible] wird, während im inneren die Blättchen kräftig divergiren.

Aber auch die kräftigsten Funken einer Elektrisirmaschine oder eines grossen Ruhmkorff'schen Inductoriums bringen nicht die mindeste Wirkung auf die Goldblättchen des äusseren Elektroskopes hervor, während die Blättchen des inneren Elektroskopes [illegible] werden.

Nähert man aber einen geriebenen Glasstab dem äusseren Elektroskope zwischen der symmetrischen Drahthülle und der Kugel des Elektroskopes, so findet alsogleich eine Einwirkung auf das Elektroskop statt.

Eben dasselbe tritt ein, wenn man einen der Zweige der Leitung, die sich von der Hülle loslösen lassen, entfernt oder beseite biegt und von dieser Seite dem Elektroskope den Glasstab nähert. Sogleich divergiren die Goldblättchen.

Ist der Körper nicht vollkommen symmetrisch geformt wie eine Kugel, so findet man bei der Prüfung verschiedener Stellen seiner Oberfläche — je nach der Form derselben — sehr verschiedene elektrische Wirkungen.

Das Probescheibchen bildet während der Berührung der Oberfläche einen integrirenden Theil derselben, und nimmt es daher verschiedene Grade von Elektricität an, so ist dies ein Beweis der ungleichmässigen Vertheilung der Elektricität auf einer solchen Oberfläche.

Aendert man die Menge der auf der Oberfläche angesammelten Elektricität, und prüft neuerdings mit Probescheibchen und Drehwage, so findet man immer wieder dieselbe Vertheilung der Elektricität, d. h. die relative Ladung zweier beliebig gewählter Oberflächenstellen bleibt bei jeder noch so grossen Ladung dieselbe.

Die Vertheilung der Spannungselektricität auf der Oberfläche der Körper ist also von der Menge der mitgetheilten Elektricität ganz unabhängig und hängt blos von seiner Form ab.

Alle Erfahrungen zeigen darauf hin, dass die Spannungselektricität ihren Sitz auf der Berührungsfläche zweier Medien hat, des elektrischen Körpers z. B. und des ihn umgebenden Mittels der Luft, so dass der durch dieses Mittel ausgeübte Druck gleichsam die Ladung daselbst festhält. Das Verhältniss der angesammelten Elektricität an einem gewissen Theile der Oberfläche zu einem sehr kleinen Flächentheilchen daselbst nennt man die elektrische Dichte dieses Oberflächenpunktes.

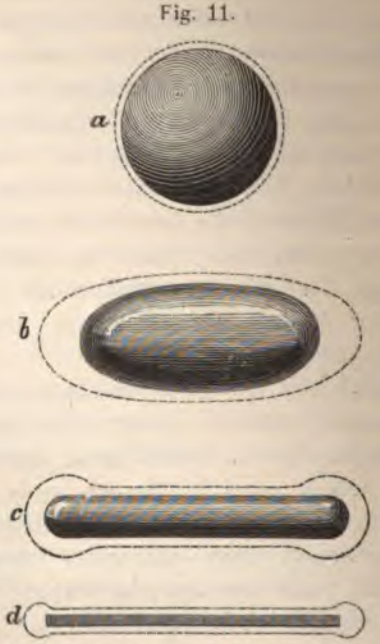
Man kann daher auch sagen, die elektrische Dichte sei die Menge der an einem bestimmten Oberflächentheile auf der Einheit der Oberfläche angesammelten Elektricität.

Auch hier war Coulomb der Erste, welcher durch ziemlich genaue Versuche mittelst der Drehwage die Dichte der Elektricität an verschiedenen Stellen der Oberfläche einer Kugel, eines Ellipsoides, einer kreisrunden Scheibe und endlich eines von zwei Kugelabschnitten begrenzten Cylinders mass, und seine Resultate zeigen am besten die nachfolgenden graphischen Darstellungen derselben in Fig. 11 *a*, *b*, *c* und *d*.

Coulomb bediente sich dabei folgender Methode: er berührte mit einem Probescheibchen eine bestimmte Oberflächenstelle des elektrischen Körpers und brachte dieses an Stelle der Messingkugel der Drehwage. Hatte es nun früher dem Hollundermarkkügelchen die gleichnamige Elektricität ertheilt, so wurde dieses vom Probescheibchen abgestossen, und nun mass er die Torsion, die nöthig

war, das Kügelchen auf eine bestimmte Stelle der Cyli
theilung zurückzuführen. Dies wiederholte er mit an
Stellen der Oberfläche — das Verhältniss der Tors
winkel — welche erforderlich waren, das Hollunderm
kügelchen und Probescheibchen in gleicher Distan
erhalten.

Fig. 11.



Allein diese Methode erfordert Zeit; während
Versuches fand Coulomb bedeutende Verminderung
Elektricität durch Zerstreuung derselben im umgeben
Mittel. Er fand, dass diese Verluste mit der Feuchtig
und Temperatur und namentlich dem Drucke des
gebenden Mittels, sowie der Form des untersuchten K
pers in innigem Zusammenhange stehen, also ein

complexes Phänomen darstellen. Um sich von dieser Fehlerquelle möglichst unabhängig zu machen, verfuhr nun Coulomb derart, dass er zwei Stellen so rasch als möglich hintereinander prüfte; dabei fand er z. B. die relative Dichtigkeit der Stelle A und B:

$$\frac{A}{B} = \mu.$$

Nach einem Zeitintervall, gleich dem zwischen der Beobachtung der Dichte von A und B, machte er eine dritte Beobachtung der Dichte in A, die er nun kleiner z. B. zu A_1 fand, dann ist: $\frac{A'}{B} = \mu'$ und $\mu' < \mu$; um daher möglichst sicher zu gehen, nahm Coulomb als wahren Werth der relativen elektrischen Dichte in A und B das arithmetische Mittel

$$\mu_0 = \frac{1}{2}\,\frac{A + A_1}{B} \text{ an.}$$

Es ist nicht gelungen, eine allgemein giltige Formel zu finden, welche den Zusammenhang zwischen der an einem Oberflächen-Elemente angesammelten Elektricitätsmenge und dem zugehörigen Krümmungsradrius zweifellos angeben würde, wiewohl Biot, Thomson u. A. sich darum bemühten.

Es gelang nur für specielle Fälle, eine ziemlich genaue Uebèreinstimmung der theoretischen Formeln und der Ergebnisse der Versuche zu erhalten.

Bisher ist nur das Eine zweifellos constatirt, dass die Dichte eine Function des Krümmungsradius des Oberflächen-Elementes ist und um so rascher zunehme, je kleiner derselbe wird.

Um zu zeigen, wie unvollkommen die Uebereinstimmung der nach den Formeln von Biot und Thomson

für eine kreisförmige Scheibe berechneten relativen Dichte der Elektricität mit der von Coulomb gefundenen sei, dient die folgende Beobachtungsreihe.

Die erste Reihe giebt die Distanz des geprüften Punktes der kreisförmigen Scheibe (von 10 Zoll Durchmesser) vom Rande derselben, die zweite die von Coulomb beobachtete, die dritte und vierte die nach den Formeln von Biot und Thomson berechnete Dichte.

Ersterer legte dieselbe Formel seiner Berechnung zu Grunde, die er für die Vertheilung des Magnetismus in Magneten fand; Thomson hingegen leitete seine Werthe aus der Formel für die Vertheilung der Elektricität auf einem Rotationsellipsoid, dessen kleine Axe sehr kurz und als Rotationsaxe angenommen wurde, ab.

Die Biot'sche Formel lautet:

$$\mu = 1 + A\,(B^{x} - B^{2r-x}),$$

wo μ die Dichte der Elektricität, A und B zwei für jeden Körper zu bestimmende Constanten sind; für die kreisförmige Kupferscheibe von 10 Zoll Durchmesser war: $A = 1\cdot 9$ und $B = 0\cdot 3$; x bedeutet die Entfernung des untersuchten Punktes von dem Rande der Scheibe, r ihren Halbmesser.

Abstand vom Rande	Beobachtete Dichte von Coulomb	Berechnet nach Biot	Berechnet nach Thomson
5 Zoll (Mitte der Scheibe)	1·000	1·000	1·000
4 „ „	1·001	1·014	1·020
3 „ „	1·005	1·051	1·090
2 „ „	1·170	1·170	1·250
1 „ „	1·520	1·570	1·667
0·5 „ „	2·070	2·041	2·994
0·0 Rand der Scheibe	2·900	2·900	unendlich.

Thomson giebt für das abgeplattete Ellipsoid, dessen grosse Axe a ist, die Formel für die Dichte der Elektricität beim Scheibenhalbmesser r:

$$\mu = \frac{M}{4\pi\sqrt{a^2 - r^2}}$$

Es scheint sonach die Annahme Biot's, dass bei der Vertheilung der Spannungselektricität dieselbe Gesetzmässigkeit herrsche, wie bei der Vertheilung des Magnetismus in Magneten, der Wahrheit am nächsten zu kommen, und bildet sich derart ein neues Bindeglied zwischen den Erscheinungen der Elektricität und des Magnetismus.

Die Spitzenwirkung.

Denkt man sich ein Ellipsoid, dessen eine Axe sehr gross ist im Vergleiche zur anderen, so entsteht eine Art stumpfer Spitze und die Elektricität wird dann eine Dichte oder Spannung an derselben haben, welche nahezu der Länge dieser Axe proportional ist. Sie wird daher einen sehr hohen Grad von Spannung erlangen können, wie der Versuch es auch zeigt.

Um eine klare Vorstellung von der Vertheilung der Elektricität in einem spitzen Körper zu geben, wandte Riess seine Methode der Prüfung mit Probescheibchen an. Er untersuchte zuvörderst die Spannung an einem Kegel mit kreisförmiger Basis von 13·3 Linien Durchmesser mit Scheitelwinkeln von 90, 45 und 22·5 Grad. Zuerst wandte er Probescheibchen von 5·5 Linien Durchmesser an, da aber dabei ziemliche Verluste durch Zerstreuung im umgebenden Mittel hervorkamen, bediente er sich später kleiner Probekügelchen von 2 Linien Durchmesser mit viel besserem Erfolge.

Er fand so das Maximum der Spannung an der Spitze, und am grössten bei dem kleinsten Scheitelwinkel, ferner ein zweites Maximum am Umfange der Basis des Kegels, das Minimum der Spannung hingegen an der Mantelfläche und um so näher zur Basis gerückt, je stumpfer der Winkel des Kegels war.

Eine feine Stahlnadel (Nähnadel) gab ebenfalls bedeutende Verdichtung an der Spitze, jedoch war sie geringer als bei einem Metallconus von 45 Grad Scheitelwinkel; hingegen geben Stacheln der Euphorbia-Arten, also natürliche Spitzen, grössere Dichten am Ende, als alle Metallspitzen.

Die Folge dieser grossen Spannung ist nun ein rasches Ausströmen der hochgespannten Elektricität in das umgebende Mittel — eine höchst wichtige Beobachtung für die Construction verschiedener elektrischer Apparate.

Schon Franklin hat hiervon eine epochemachende Anwendung gemacht, indem er einen mit Spitzen versehenen Drachen an einer Metallschnur in die Luft steigen liess und so den Gewitterwolken Elektricität entziehen konnte, indem er zugleich die Identität der im Blitze sich manifestirenden elektrischen Erscheinungen unserer Atmosphäre mit jener durch Reibung erhaltenen nachwies und gleichzeitig ein Mittel erfand, die Wirkungen der hochgespannten Luftelektricität für uns unschädlich zu machen.

Er hat die ersten Blitzableiter construirt und die Resultate seiner Versuche mit dem elektrischen Drachen in seiner Denkschrift vom 7. November 1749 dahin resumirt, dass die so erhaltenen Entladungsfunken der Luftelektricität ganz dieselben Wirkungen, nur in er-

höhtem Grade äussern, und dass die Spitzen höchst wahrscheinlich auf den Blitz ebenso anziehend einwirken, wie auf den elektrischen Funken der Elektrisirmaschine.

Nähert man einen elektrischen Körper einem Elektroskope, an welches eine Metallspitze, ein Dorn oder eine brennende Wachskerze angesteckt ist, so werden die feinen Spitzen der Flamme, d. h. die Gasströme des aufsteigenden heissen Wasserdampfes, welcher die Elektricität leitet, eine rasche und kräftige Ladung der Blättchen des Elektroskopes veranlassen. Man kann also durch Spitzenwirkung rasch laden und auch sehr rasch entladen.

Coulomb machte später Versuche über die Vertheilung der Elektricität auf verschiedenen sich berührenden Körpern, z. B. Kugeln. Er wandte in der Drehwage eine Kugel an, welche er lud, erhielt bei einer Ablenkung von 30 Grad eine Torsion von 145 Grad an derselben; berührte er die Kugel mit einer grösseren, deren Oberfläche 14·8mal grösser war, so war der Torsionswinkel nur mehr 12 Grad, also ist die relative Ladungsdichte:

$$\frac{145}{12} = 12·2.$$

Bezeichnet man mit e und e' die Ladungen, die Dichten aber mit μ und μ', so ist $\frac{e'}{e} = \frac{o\,\mu'}{o\,\mu}$, woraus $\frac{\mu^1}{\mu} = 1·33$ folgt.

Eine Reihe solcher Versuche ergab die relative Dichte der elektrischen Ladung, die relative Spannung an verschiedenen Kugeln, wie folgt:



Halbmesser der Kugel	Verhältniss der elektrischen Spannung	
	beobachtet	berechnet nach Poisson's F...
1	1·00	1·00
2	1·08	1·16
4	1·30	1·32
8	1·65	1·44
∞	2·00	1·65

Auch hier weichen also die aus genauen Versuch... hervorgegangenen Werthe von den durch Rechnung ...haltenen beträchtlich ab.

Zweiter Abschnitt.

Die Erscheinungen und Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung oder Induction wurden schon von Otto Guericke, dem Erfinder der Elektrisirmaschine, beobachtet, nach ihm von Hawksbee und Gray studirt, doch erst Canton gab einen klaren Begriff von dieser Erscheinung.

Er hing zwei Korkkügelchen an Leinenfäden, dicht aneinander anliegend, an einem Ende eines Leiters auf, welcher mit der Erde in Verbindung stand, näherte dann aus bedeutender Entfernung dem Leiter und Kügelchen eine geriebene Glasstange. Alsbald stiessen sich die Kügelchen ab. Hing er sie an Seidenschnüren am Leiter auf, so musste er ganz nahe an dieselben herankommen, um eine merkliche Abstossung der Kügelchen zu erzielen.

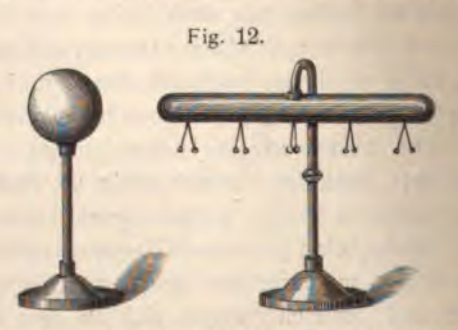
Er änderte dann den Versuch dahin ab, dass er dem auf Seidenschnüren isolirt aufgehängten Leiter, einem eisernen Cylinder, eine geriebene Glasstange näherte. Die an beiden Enden angebrachten elektrischen Doppelpendel divergirten und der Leiter zeigte sich an dem der Glasstange zugewendeten Ende mit der entgegengesetzten, also negativen Elektricität geladen. Aber erst Aepinus machte die entscheidende Wahrnehmung, dass ein in

obiger Weise isolirt aufgehängter metallischer Cylinder nicht nur an dem der elektrischen Glasstange zugewendeten Ende die entgegengesetzte negative Elektricität zeige, sondern auch am abgewendeten Ende elektrisch sei, und zwar die gleichnamige, also positive Elektricität zeige.

Die Elektricität der Glasstange bewirkt also die Störung des elektrischen Gleichgewichtes unelektrischer Körper offenbar durch ihre Fernwirkung, durch Vertheilung, indem sich an dem zugekehrten Ende des Cylinders die ungleichnamige, am abgerundeten hingegen die gleichnamige Elektricität ansammelt.

Er zeigte ferner, dass diese Anhäufung am stärksten an beiden Enden sich zeige, nach der Mitte des Cylinders zu abnehme, indem er elektrische Doppelpendel an der ganzen Länge des Cylinders anbrachte, wo dann die an den Enden befindlichen am meisten divergirten, während an jenem Doppelpendel, das an der Mitte des Cylinders angebracht war, keine Divergenz sich zeigte (Fig. 12).

Fig. 12.



Entfernte er nun die geriebene Glasstange in kürzester Zeit wieder rasch von dem isolirten Cylinder, so fielen sämmtliche Doppelpendel zusammen, woraus er dann

schloss, dass bei der Entfernung der geriebenen Glasstange von dem isolirten Cylinder die Wirkung der elektrischen Vertheilung oder Induction, also die Fernwirkung wieder vollkommen aufhöre, alle beiden elektrischen Zustände waren sonach einander gleichwerthig, äquivalent, und durch die Wiedervereinigung beider musste der frühere nicht elektrische Zustand des Körpers wiederhergestellt worden sein.

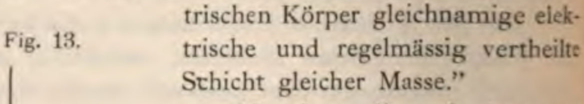
Um den Einfluss der Entfernung auf die Vertheilung der Elektricität kennen zu lernen, näherte er stetig die geriebene Glasstange dem isolirten Metallcylinder, bis endlich ein Funken auf denselben von der Glasstange übersprang, worauf alle Doppelpendel, auch jene an der Mitte, divergirten und der Cylinder seiner ganzen Länge nach positive Elektricität zeigte. Wird daher die Distanz zwischen dem erregenden oder inducirenden Körper und dem erregten oder inducirten gehörig verringert, so gleicht sich die angezogene ungleichnamige, hier also negative Elektricität mittelst der Funkenbildung durch die Luftschicht hindurch aus, und es bleibt in dem isolirten Metallcylinder nur die gleichnamige, hier also positive Elektricität übrig. Die Ladung des inducirenden Körpers der geriebenen Glasstange hat aber dann um einen gewissen Betrag abgenommen.

Man sagt daher, dass die elektrische Lichterscheinung, der elektrische Funke, in Folge der Ausgleichung gleichwerthiger oder äquivalenter, durch die Luftschicht hindurch aber entgegengesetzter elektrischer Spannungen entstehe.

Faraday hat die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung oder Induction unter ein allgemeines Theorem subsumirt, wie folgt:

„Ist ein elektrischer Körper von einem anderen, wie immer geformten Körper vollkommen umgeben, so entsteht auf seiner dem elektrischen Körper zugewendeten inneren Fläche eine ungleichnamige elektrische Schicht gleicher Masse, wie jene des vertheilenden oder inducirenden Körpers. Die Vertheilung hängt dann von der Form und Lage des elektrischen Körpers ab, und es bildet sich an der äusseren Oberfläche eine zum elektrischen Körper gleichnamige elektrische und regelmässig vertheilte Schicht gleicher Masse."

Fig. 13.



Man kann dies mit dem von Faraday selbst construirten Apparate nachweisen. Eine isolirte, z. B. positiv geladene Metallkugel, an einem Seidenfaden hängend, wird in einen auf Glasfuss isolirten Blechbecher eingehängt, dessen äussere Oberfläche mit einem Goldblatt-Elektroskope durch einen Metalldraht in leitender Verbindung steht.

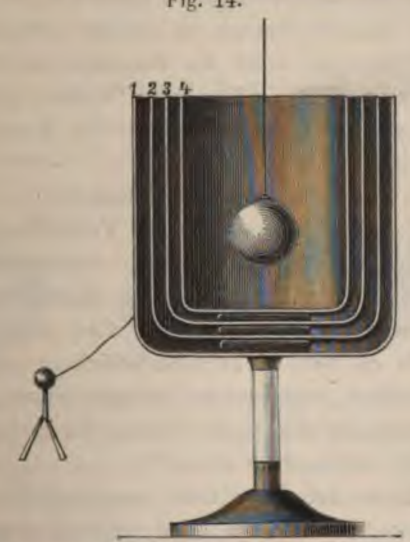
Die innere Oberfläche ladet sich dann mit ungleichnamiger, also hier negativer Elektricität, während die äussere positiv wird und diese Elektricität auf das Goldblatt-Elektroskop überträgt, dessen Goldblättchen mit positiver Elektricität divergiren.

Nähert man die isolirte Kugel der inneren Seitenwand selbst bis zur Berührung, so wird der Ausschlag der Goldblättchen am Elektroskope dennoch nicht grösser, die positive elektrische Ladung war daher gleichwerthig der durch Berührung mit derselben dem Becher mit-

getheilten. Zieht man die Kugel aus dem Becher hervor, fallen die Blättchen wieder zusammen zum Beweise, dass der Becher wieder unelektrisch geworden.

Faraday nahm hierauf vier ungleich grosse, ineinandergeschobene und voneinander durch Schellackplättchen isolirte Blechbecher. Bei Wiederholung des obigen Versuches verhielt sich der äusserste Becher so,

Fig. 14.



als ob die inneren gar nicht vorhanden wären, seine Ladung durch Vertheilung ist dieselbe geblieben wie im vorigen Versuche.

Berührt man den innersten Becher ableitend, z. B. mit dem Finger, so fallen die Blättchen des Elektroskopes zusammen, die drei äusseren Becher sind daher nullelektrisch geworden, während der innere negativ elektrisch geblieben ist.

Die vereinte Wirkung der positiven Kugel und des innersten negativen Bechers ist auf alle ausserhalb liegenden Körper Null, folglich sind beide entgegengesetzten elektrischen Massen gleichwerthig oder äquivalent.

Berührt man den zweiten Becher ableitend, so sind der dritte und vierte Becher als nach aussen liegende Körper unelektrisch.

Bringt man mehrere gleich elektrische Körper in das Innere des Bechersystemes, so addiren sich ihre vertheilenden Wirkungen und die Summen der Massen entgegengesetzter Elektricitäten sind wieder gleichwerthig, wie bei dem Versuche mit nur einer Kugel und nur einem Becher.

Schon Canton bemerkte bekanntlich, dass ein bereits elektrischer Körper durch Vertheilung entweder stärker oder schwächer elektrisch werden könne. Der Zustand eines durch Vertheilung elektrisirten Körpers, welcher bereits früher elektrisch war, kann so gedacht werden, als ob zwei elektrische Schichten auf der Oberfläche desselben übereinander gelagert wären, deren eine die ursprüngliche elektrische Masse, die andere die durch Vertheilung entstandene darstellt.

Da die an der Oberfläche angesammelte Elektricität eines elektrischen Körpers auf das Innere desselben keine Wirkung äussert, so ist die Wirkung des vertheilenden Körpers auf den elektrischen Leiter die massgebende.

Ist z. B. K eine positiv elektrische isolirte Kugel, C ein cylindrischer, ebenfalls positiv elektrischer isolirter Leiter, so wird am zugewendeten Ende e durch Vertheilung negative neben der bereits an der Oberfläche vorhandenen positiven Elektricität sich ansammeln, während am abgewendeten Ende e' über die positive elektrische

Schicht sich eine zweite, ebenfalls positive lagert. Es wird also das Ende c durch die entgegengesetzte Wirkung der elektrischen Schichten fortwährend schwächer positiv, das Ende c' sich immer stärker positiv laden, bis bei einem gewissen Abstande der Kugel und des Cylinders beide sich am Ende c gerade aufheben; bei weiterer Annäherung wird dann die negative Elektricität überwiegen, und das Ende c negativ, das Ende c' stark positiv elektrisch sein.

9. Mehrfache Vertheilung.

Ebenso wie der vertheilende Körper auf den Leiter z. B. den isolirten Cylinder einwirkt, wirkt auch reciprok

Fig 15.



der Leiter auf den vertheilenden Körper, z. B. die isolirte Kugel. Prüft man die Stellen o und o' in obiger Figur, d. h. die abgewendeten und zugewendeten Punkte der elektrischen Kugel mit dem Probescheibchen, so findet man in o mehr Elektricität angehäuft als in o', die Dichte ist also dort grösser. Man kann statt Kugel und Cylinder einen kurzen und einen langen isolirten Cylinder anwenden; sind beide mit Pendeln versehen, und der erste positiv elektrisch, der andere noch unelektrisch, so werden bei Annäherung der kurzen an den langen Cylinder die Pendel, die früher gleich stark an beiden Enden des kurzen divergirten, nun am Ende, welches dem längeren Cylinder zugewandt ist, mehr divergiren, am abgewen-

deten Ende aber mehr und mehr zusammensinken. Die durch Vertheilung an einem isolirten Leiter hervorgerufene Elektricität kann daher weiter auf einen zweiten in der Nähe befindlichen Leiter vertheilend wirken.

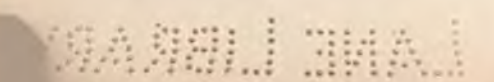
Nähert man dem Cylinder, auf den die Kugel in obigem Versuche durch Vertheilung einwirkt, einen zweiten ebenfalls isolirten und mit Pendeln versehenen Cylinder, so divergiren dieselben ebenfalls, wie am ersten Cylinder, fallen aber bedeutend zusammen, sobald man den ersten Cylinder entfernt, ein Beweis, dass seine vertheilende Wirkung die Pendel kräftig divergiren machte, während die directe Wirkung der elektrischen Kugel keine oder nur geringe Wirkung auf den entfernteren zweiten Cylinder ausübt.

Man kann eine Reihe solcher Cylinder hintereinander aufstellen, doch wird die Einwirkung je weiter, desto schwächer.

Stellt man nach Wilke zwischen obige zwei dicht aneinander stehende Cylinder ein an einem feinen Coconfaden hängendes Hollundermarkkügelchen, so wird es pendelartig von einem zum anderen sich bewegen und endlich stillstehen; entfernt man dann die inducirende Kugel, so beginnt die pendelnde Bewegung des Hollundermarkkügelchens neuerdings, und hält wieder eine Zeit an; es restituirt sich also wieder der frühere nullelektrische Zustand.

10. Die Fernwirkungsgesetze.

Die durch Vertheilung in einem Leiter erregte elektrische Spannung wächst mit der Annäherung des vertheilenden elektrischen Körpers. Die Pendel an den Enden des isolirten Cylinders divergiren also bei fortdauernder



ınäherung immer stärker, sinken hingegen bei zuneh-
:ndem Abstande des vertheilenden Körpers vom Leiter
mer mehr zusammen. Wird der Abstand beider hin-
chend vermindert, so entsteht zwischen ihnen eine
:hterscheinung, elektrischer Funke genannt, und die
ndel am isolirten Cylinder divergiren nun mit gleich-
niger Elektricität, d. h. mit jener der inducirenden
ıgel; also ladet sich der Cylinder unter gleichzeitigem
rschwinden der entgegengesetzten Elektricität, wenn
Kugel positiv elektrisch wird, ebenfalls positiv elek-
sch. Es sind daher von Kugel und Cylinder, d. h.
m vertheilenden Körper wie vom Leiter gleichwerthige
ıssen positiver und negativer Elektricität verschwunden,
s mit dem Probescheibchen und einem Elektrometer
:ht nachgewiesen werden kann.

Diese Versuche haben wegen der Verluste durch
rstreuung der Elektricität im umgebenden Mittel der
ts (in Folge des darin enthaltenen Wasserdampfes)
vas leitenden Luft Coulomb bedeutende Schwierig-
ten verursacht, indem seine Wage für jeden Versuch,
d jede Messung eine ziemliche Zeit beansprucht.

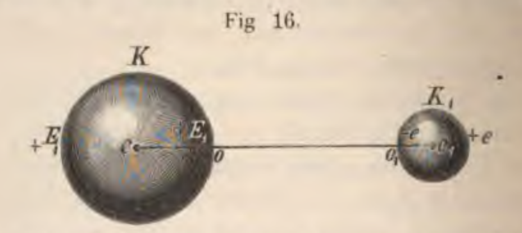
Näherte er zwei Kugeln auf isolirendem Untersatz,
sie sich berühren, so fand Coulomb, dass an der
ntactstelle und in ihrer Nähe keine merkliche elek-
sche Spannung existire. Sind beide Kugeln gleich gross,
erscheint nach ihrer rTennung die elektrische Span-
ng wieder an der Stelle, wo sie sich berührten, und
nmt zu, je mehr man beide Kugeln trennt; bei hin-
chender Entfernung ist die elektrische Spannung auf
den Kugeloberflächen wieder gleichmässig vertheilt.

Sind die Kugeln ungleich gross, so wird nach
erfolgten Berührung und darauf folgender Trennung

auf der grösseren K sich dieselbe Elektricität zeigen, wie die ursprüngliche Ladung war, hingegen auf der kleineren K_1 die entgegengesetzte auf zwei zunächst gelegenen Punkten der Kugeloberflächen K und K_1 in o und o_1. Beide Punkte liegen auf der Verbindungslinie $c\ c_1$ beider Kugelmittelpunkte.

Die kleinere Kugel hat also eine Neutralitätszone, welche die zwei entgegengesetzt elektrischen Zustände ihrer Oberflächen trennt. Bei weiterer Trennung beider Kugeln wächst die Spannung in o_1, nimmt hierauf wieder ab und wird endlich Null. Von da an wird bei weiterer Entfernung der grösseren Kugel die kleinere die gleich-

Fig 16.



namige Elektricität zeigen wie die grosse. Dies ergiebt sich aus der vorangeführten Wechselwirkung zwischen dem inducirenden Körper und dem inducirten.

Coulomb giebt folgende Werthe für die Entfernung beider ungleich grossen Kugeln K und K_1, bei denen die Spannung im Oberflächenpunkte o_1 der kleineren gerade Null wird.

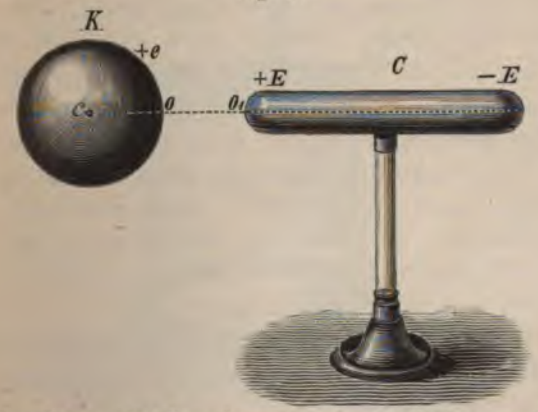
Durchmesser der grossen Kugel K	Durchmesser der kleinen Kugel K_1	Entfernung beider Kugeln
11 Zoll	11 Zoll	0 Zoll
11 „	8 „	1 „
11 „	4 „	2 „
11 „	2 „	2·5 „

Nähert man einer elektrischen isolirten Kugel einen nicht isolirten Cylinder, dessen abgewendetes Ende also z. B. mit der Erde in Berührung gebracht worden, so ist die Spannung in dem kugelförmig abgerundeten, der Kugel zugewendeten Ende im nächsten Punkte o_1 nahezu der Wurzel aus der dritten Potenz der Entfernung des Punktes o_1 vom Mittelpunkte der Kugel, also:

$$\sqrt{co_1{}^3} = \sqrt{r^3}$$

proportional.

Fig. 17.



So lange der Durchmesser des Cylinders gering ist gegen den der inducirenden Kugel, steht die Spannung im Punkte o_1 im verkehrten Verhältnisse des Halbmessers des Cylinders.

Nennt man s die Spannung auf der Kugel, s_1 am nächsten Oberflächenpunkte o_1 des Cylinders, so fand sich:

$$\frac{s_1}{s} = - \frac{n\, R^2}{r\sqrt{(R+d)^3}},$$

wo R den Kugelhalbmesser, r den Cylinderhalbmesser, d den Abstand $o\, o_1$ beider Körperenden bedeutet.

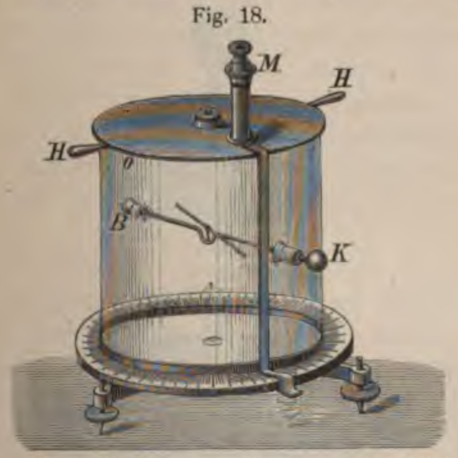
Coulomb fand in seinen Versuchen $\frac{s_1}{s} = -4$, wenn der Kugelhalbmesser $R = 4$ Zoll, der Cylinderhalbmesser $r = \frac{1}{2}$ Zoll und der Abstand $o\,o_1 = 2{\cdot}5$ Zoll waren. Daraus ergiebt sich der Coëfficient $n = 2{\cdot}7$, welcher unter den obigen Voraussetzungen constant ist. Mehrere derartige Versuche ergaben die Constanz dieses Coëfficienten für gewisse nicht allzu weite Grenzen im Abstand und in den Dimensionen von Kugel und Cylinder. Es ergiebt sich daraus, dass für einen unendlich dünnen Cylinder, also für $r = o$, die relative Spannung am Endpunkte o_1 des Cylinders in s unendlich wächst, woraus sich die Wirkungsweise der Spitzen erklären lässt, die daher sehr leicht sich elektrisch laden, indem zugleich die angesammelte Elektricität an ihnen eine hohe Spannung annimmt, sich aber eben deshalb rasch gegen die Umgebung, feuchte Luft u. s. w., wieder entladen können.

Die Inductionsversuche lassen sich besser, als mit der Coulomb'schen Drehwage mit dem Sinus-Elektrometer von Riess oder mit dem Universal-Elektrometer von Zenger durchführen.

Das Sinus-Elektrometer von Riess ist ganz analog mit der Sinusbussole. Ein fest eingekitteter Leitungsdraht geht durch zwei Oeffnungen in den Glascylinder des Instruments und endet vorn in eine Kugel. Dieser Zuleitungsdraht ist symmetrisch zur Axe des Glascylinders bügelförmig gebogen, die Mitte dieses Bügels trägt eine feine Stahlspitze, auf der eine kleine Magnetnadel spielt, senkrecht über dem Bügel steht ein an der oberen Deckplatte angeschraubtes Ablesemikroskop mit Fadenkreuz, mit dem man eine feine, auf der Nadel eingerissene

Linie beobachtet, und auf das Fadenkreuz einstellen kann. Man stellt das Instrument so ein, dass die Nadel stets dieselbe Stellung gegen den Bügel behält, indem man den Strich auf derselben mit dem Faden im Gesichtsfelde des Mikroskopes zur Coincidenz bringt. Der obere Metalldeckel mit dem senkrecht darauf stehenden Mikroskope ist hierzu drehbar eingerichtet, und ein Metallarm von dem Mikroskop nach abwärts zum getheilten und hori-

Fig. 18.



zontal gesrellten Kreise, der den Fuss des Elektrometers bildet, geführt, und mit einem Nonius am unteren Ende versehen.

Ladet man die Kugel *K* des Elektrometers, so wird die Nadel vom Bügel *B* abgestossen. Der untere Kreis ist fest mit dem Glascylinder des Instruments verbunden, und dreht sich also mit diesem um eine verticale Axe. Man bestimmt nun den Winkel, um welchen man das cylindrische Gehäuse drehen muss, damit der Strich am Nadelende auf den Faden wieder einspiele, d. h. dieser

denselben Abstand vom Bügel erhalte, wie vor der Ladung. Ist der Drehwinkel w, so ist $h \sin w$ die Wirkung der horizontalen Componente des Erdmagnetismus auf die Nadel.

Da nun die elektrische Wirkung zwischen Bügel und Nadel dem Quadrate der Entfernungen, wie bei jeder fernwirkenden Kraft, proportional ist, so wird ähnlich

Fig. 19.



wie bei der Torsionswage von Coulomb die abstossende Wirkung dem Quadrate der elektrischen Spannung oder Dichte proportional sein; also wird

$$h \sin w = A\, d^2$$

$$h \sin w_1 = A\, d_1^{\,2},$$

also: $\sin w : \sin w_1 = d^2 : d_1^{\,2}$; daher endlich:

$$\sqrt{\sin w} : \sqrt{\sin w_1} = d : d_1.$$

Die Versuche mit dem Sinus-Elektrometer lassen sich rascher als mit der Torsionswage durchführen, und sind

die Verluste während derselben durch Zerstreuung und Ableitung wesentlich geringer, als bei der Torsionswage, also auch die Messungen genauer.

Noch rascher, und für manche dieser Versuche allein genau genug ist die Messung mit Peltier's Elektrometer durchzuführen. Dieses besteht aus einem cylindrischen Glasgehäuse, das an seiner Mantelfläche eine Theilung trägt. In der Mitte desselben und in der Axe der Cylinderfläche steht ein isolirter Träger auf der kreisförmigen Fussplatte, welche mit drei Fussschrauben horizontal gestellt werden kann; an ihm befindet sich ein isolirtes Säulchen, auf dem ein in die Cylinderaxe senkrecht gestellter Draht angesetzt ist und einen symmetrisch gekrümmten Leiter, der zum Knopfe des Elektrometers führt, trägt, dieser endet in die damit leitend verbundene Stange SS_1 mit Endkugeln.

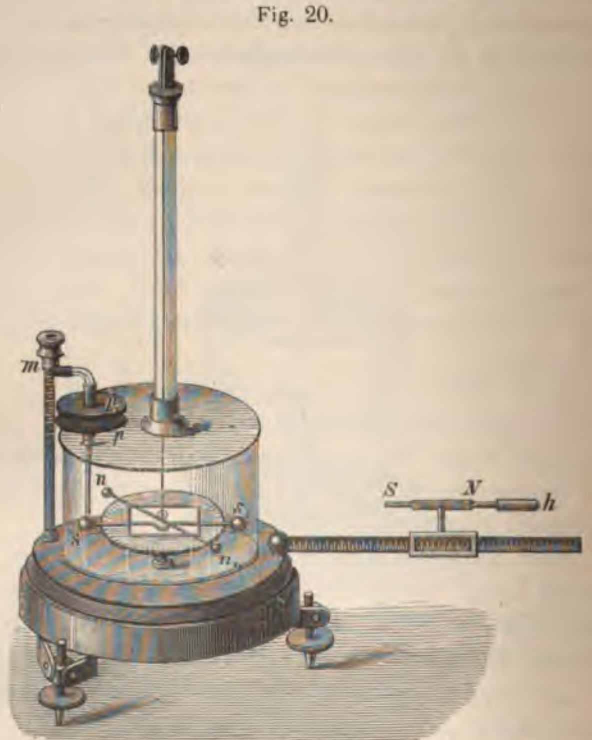
In der Mitte des gekrümmten Leiters und in der Axe der getheilten Cylinderfläche spielt auf einer Stahlspitze der Bügel aus Kupferdraht, an welchem parallel und in metallischer Verbindung eine leichte Magnetnadel angebracht ist.

Man aicht das Instrument, indem man einen geladenen Leiter von bestimmter Oberfläche auf isolirtem Fusse, z. B. eine Kugel, durch Berührung mit einer ebenso grossen, nach und nach in ihrer Ladung auf $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ u. s. w. herabmindert, und der Kugel des Instruments durch Berührung mit diesem Leiter nach und nach immer schwächere Ladungen mittheilt, die dazu gehörigen Ablenkungen der Magnetnadel aus dem Meridiane abliest, und so eine Tabelle oder eine Curve construirt, deren Ordinaten den Ladungen, die Abscissen den Ablenkungswinkeln entsprechen.

Immer aber bleibt Peltier's Elektrometer nur auf geringe Spannungsunterschiede beschränkt, welcher Uebelstand bei der Modification von Zenger wegfällt.

Das Universal-Elektrometer von Zenger besteht aus

Fig. 20.



einem cylindrischen Glasgehäuse mit Glasplatte in Messingfassung. Dieser Glascylinder ruht in einer Nuth in der kreisförmigen Bodenplatte, um das Innere staubfrei zu erhalten; die obere Glasplatte ist durchbohrt, und trägt in einer Messingfassung eingekittet, eine dünne 25 bis

0 Cm. hohe Glasröhre zur Aufnahme des Coconfadens,
n dem eine am Ende mit Aluminiumscheibchen oder
Iollundermarkkügelchen versehene Magnetnadel hängt.
iese ist aus einem feinen Strahldrahte hergestellt und
chwingt über einem in der Mitte bügelförmig gebogenen
ersilberten Kupferdrahte, der mit zwei ebenfalls ver-
lberten Kügelchen endet.

Dieser Kupferdraht ist an einem Ende durch einen
enkrecht absteigenden dicken Kupferdraht durchgesteckt,
elcher durch die obere durchbohrte Glasplatte, nahe an
rem Rande, durchgeht, und dort eingekittet ist. Das obere
nde trägt eine kreisförmige, am Rande mit abgerundetem
Vulste versehene Kupfer- oder Messingscheibe, der eine
weite, an isolirendem Glasarme befestigte und bewegliche
eich grosse Metallplatte parallel gegenübersteht.

Der isolirende Arm ist in eine Messinghülse gekittet,
sich auf einem senkrechten Träger auf und ab bewegen
t, welcher an der Fussplatte fest angeschraubt ist. Eine
rometerschraube erlaubt um bekannte Beträge die
len Platten voneinander zu entfernen, oder aber sie
erührung zu bringen. Da die Fläche der oberen Platte,
he der unteren parallel gegenübersteht, mit Schellack-
s überzogen ist, so kann bei Berührung beider keine
ricität auf die untere übergehen, so lange die Span-
der der oberen mitgetheilten Elektricität nicht zu
ist, und daher wirken beide aufeinander auch bei
rung, nur durch elektrische Vertheilung ein.

a nun die Entfernung beider Platten ablesbar
nso die Ablenkung des magnetischen Wagebalkens
Cylinderfläche, oder unter der Nadel an einer
ilung abgelesen werden kann, so ist der Elektro-
icht zu aichen.

Man ladet die obere Platte mässig stark, während sie der unteren bis zur Berührung genähert ist, und zwar so, dass die Nadel etwa 60 Grad abgelenkt wird, schraubt die obere dann um bekannte Beträge aufwärts, und liest die zugehörige Ablenkung der Nadel ab.

Aus dem bekannten Abstande der Platten berechnet man die Einwirkung durch Vertheilung, und construirt die zugehörige Tafel oder Curve. Berührt man mit einer gleich grossen, an isolirendem Handgriffe befindlichen Platte die obere Platte des Elektrometers, so sinkt die Ladung auf die Hälfte, bei abermaliger Berührung auf ein Viertel u. s. w., wodurch man entweder Controlversuche machen kann, oder aber die Aichung selbst bis über 60 Grad vornehmen und endlich auch bis in die Nähe des Nullpunktes fortführen kann.

Man findet nun für jedes Instrument eine obere und untere Spannungsgrenze, z. B. zwischen den Ablenkungen 0 Grad und 60 Grad der Magnetnadel, wenn auf diese die ungeänderte Richtkraft der horizontalen Componente des Erdmagnetismus einwirkt.

Allein man kann diese Grenzen nach oben und unten sehr weit in folgender Weise hinausschieben.

Die Fussplatte trägt einen festangeschraubten kugelförmigen Knopf aus Messing, der durchschnitten ist und einen um eine horizontale Axe drehbaren, hinreichend dicken Messingstab aufnimmt.

Dieser ist in Millimeter getheilt und trägt einen Schieber mit Nonius, an dessen oberer Fläche ein Zapfen sitzt, auf den sich ein möglichst stark magnetischer Stahlstab mit seiner Axe parallel zur getheilten Messingplatte aufstecken und hin und her bewegen lässt.

Stellt man die Nadel auf Null dem Zuleitungsdraht mit Endkugeln so nahe als möglich, ohne ihn zu berühren, und nähert den mit seiner Axe ebenfalls in der Richtung des dem Nullpunkte der Kreistheilung entsprechenden Durchmessers verschiebbaren starken Stahlmagnet, so dass Nadel und Magnetstab sich mit gleichnamigen Polen entgegenstehen, so wird sich die Richtkraft der Nadel beliebig abschwächen, und bis auf Null herabmindern lassen; die Nadel wird dann astatisch sein, und das Elektrometer seine höchste Empfindlichkeit erlangen, in welcher die wiederholte Berührung desselben mit dem einen Poldrahte eines Daniell'schen Elementes bereits einen viele Grade betragenden Ausschlag ergiebt.

Nimmt man zwei Elemente, so muss die Spannung an den geöffneten Polen die doppelte sein u. s. f., so dass man die Aichung mit grosser Genauigkeit und in ähnlicher Weise, wie oben gezeigt, vornehmen kann.

Um für ganz schwache elektrische Spannungen mit diesem Elektrometer auszureichen, trägt die Nadel ein versilbertes Deckgläschen oder Glimmerplättchen und die Glashülle einen Ausschnitt mit aufgekitteter Planparallelglasplatte, um mittelst einer Scala die Spiegelablesung benutzen zu können, indem ein leuchtender Punkt als Index von S nach S_1 reflectirt wird. Die Ausschläge sind dann für die kleinsten Winkel in selber Weise wie bei der Kreisablesung zur Aichung zu verwenden.

Die Astasirung kann durch einen kleinen Nebenapparat, bestehend aus einem in der Messinghülse gefassten kurzen Stäbchen von weichem Eisen, welches sich auf das von der Nadel abgewendete Polende des Magnets aufstecken und drehend von ihm mehr minder entfernen

lässt, so vollkommen werden, dass der Elektrometer acht- bis zehnmal empfindlicher ist, als mit nicht astasirter Nadel, wodurch die oberen und unteren Grenzen der Messbarkeit in den zwei Hauptlagen der parallelen Kupferplatten um ebenso viel erweitert werden.

Bringt man nun die Platten zur Berührung, so hat man die obere Grenze der Empfindlichkeit des Elektrometers mit astatischer Nadel. Schraubt man sie möglichst weit voneinander, so hat man die untere Grenze dieses Empfindlichkeitsgrades.

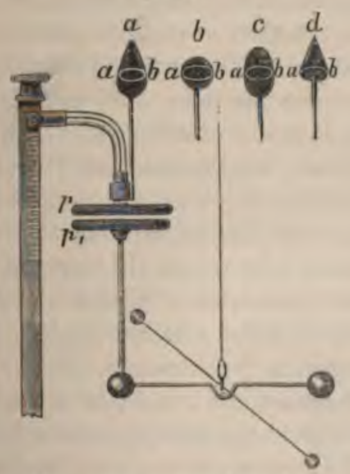
Handelt es sich um die Messung sehr starker Spannungen, so kann man den Stab der Nadel mit ungleichnamigem Pole in jener Lage gegenüberstellen, in welcher er die Nadel (bei gleichnamigen Polen) astasirt. Dann wirkt die doppelte Richtkraft der horizontalen Componente des Erdmagnetismus auf die Nadel, und durch völliges Herab- und Heraufschrauben der beweglichen Platte erhält man abermals zwei verschieden empfindliche Elektrometer.

Man hat also mindestens sechs verschiedene und ganz bestimmte Empfindlichkeitsgrade des Universal-Elektrometers zur Verfügung und kann die elektrischen Dichten innerhalb sehr weiter Grenzen und sehr rasch messen. Da nun die umgekehrte Lage des Magnetstabes die Empfindlichkeit in beiden Lagen um die Hälfte gegenüber der nicht astasirten Lage herabmindert, so ist das Verhältniss der Empfindlichkeit zwischen dieser und der astasirten Einrichtung etwa das 16- bis 20fache. Da man ferner durch Spiegelablesung noch sehr geringe Ablenkungen an der astasirten Nadel, z. B. bis auf einen Ausschlag von 10 Secunden, ablesen kann, so fällt es nicht schwer, die Grenzen so weit zu machen, dass die grössten und

geringsten Spannungen oder elektrischen Dichten mit demselben Instrumente messbar werden.

Man kann so die Dichte an einem isolirten Metallkonus, Metallpyramide, Cylinder mit kugelförmiger Abrundung, mittelst kreisförmiger Probeplatten, oder an der oberen Kupferplatte hinfahrend, prüfen, und die ungleiche Spannung verschiedener Oberflächenpunkte, sowie ver-

Fig. 21.



schieden spitzer Konuse, messend nachweisen, und zwar viel rascher und besser als mit der Drehwage und dem Sinus-Elektrometer. Man findet ferner den Unterschied zwischen den Spannungen an der grossen und kleinen Axe des Ellipsoides, an verschiedenen Punkten eines Ovoides u. s. w., indem man auf eine bestimmte Entfernung die Spitze, das Ellipsoid, das Ovoid oder eine Kugel der oberen Kupferplatte nähert oder auf diese aufsetzt und den elektrischen Köperchen nähert.

Als Elektricitätsquelle muss eine möglichst constante angewendet werden. Die Vertheilung ist nun in diesen Fällen sehr verschieden, und es lässt sich die Distanz beobachten, bei der zwischen der constanten Elektricitätsquelle und den Körpern eine Entladung stattfindet, wenn man statt der offenen Pole einer galvanischen Batterie eine grosse immer gleich stark geladene Kugel auf isolirtem Glasfusse den mit der oberen Kupferplatte in leitende Verbindung gebrachten obgenannten Körpern nähert, bis die Nadel plötzlich zurückgeht und neuerdings abgestossen wird in Folge stattgefundener Entladung.

Man kann so constatiren, dass eine Kugel, ein Ellipsoid, ein Ovoid und ein Metallkegel sich bei gleichem Kugeldurchmesser, bei Ellipsoid und Ovoid, bei gleichem mittleren Querschnitt und Durchmesser der Kreisfläche *a b*, ferner bei dreifacher Länge in der dazu senkrechten Richtung, dann bei gleichem Durchmesser der Grundfläche und bei einem Winkel an der Spitze des Kegels von 30 Grad auf sehr verschiedene Distanzen entladen, welche sich bei den in diesen Fällen angewendeten Körpern wie 1 : 2 : 5 : 10 etwa verhielten.

Die Funkenbildung geht also beim Kegel schon auf bedeutende Entfernungen vor sich, so zwar, dass helle Entladung in Funkenform beim Kegel schon auf die zehnfache Entfernung derjenigen erfolgt, bei der durch Induction die Entladung zwischen der Kugel auf isolirtem Stative und der kleinen an den Elektrometer angesteckten Kugel erfolgt; zwischen diesen Extremen liegt dann die Entladung durch Induction am Ellipsoid und Ovoid.

Man kann die langsame Ausgleichung zwischen Kugel und Ellipsoid, sowie die rasche durch Ovoid und Kegelspitze mit dem Universal-Elektrometer genau messend

verfolgen und den obigen Versuch in folgender Weise zweckmässig abändern.

Statt der isolirten grossen Kugel nähert man eine kreisförmige, an einer Seidenschnur von der Decke des Zimmers herabhängende geladene Scheibe den auf die Inductorplatte *p* des Elektrometers aufgesetzten Körpern. Kugel, Ellipsoid, Ovoid und Kegel zeigen dann durch die Bewegungen der Nadel die mehr minder rasche Ausgleichung der Elektricität, sowie bei stattfindender Entladung durch das Umschlagen der Nadel die Distanzen an, in welchen ein Funken bei gleicher Ladung zwischen der isolirten Kreisscheibe und den Körpern durch die Luft aus der genäherten Scheibe überspringen kann.

Es ergiebt sich aus den obigen Versuchen zur Evidenz, dass bei Kugeln und Ellipsoiden, deren Axendimensionen nicht sehr verschieden sind, grosse Spannungen durch Induction entstehen können, ohne dass selbst bei sehr geringer Distanz zwischen der Platte und diesen Körpern eine Funkenentladung erfolgt, wiewohl stetige Verluste durch theilweise Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten zumeist in Folge der Leitungsfähigkeit der feuchten Luft erfolgen. Diese Entladung lässt sich bei starker Spannung im Dunklen als sogenanntes Büschellicht, als dunkle Entladung, ohne solches bei geringeren Spannungen an dem Elektrometer durch die Ladungsverluste nachweisen. Dem entgegen sind die Entladungen in dieser Art sehr stark bei Ovoid und Kegelspitze, und lassen sich die Beträge leicht durch Ablesungen von Minute zu Minute und für verschiedene Distanzen am geaichten Universal-Elektrometer ablesen.

Diese Versuche sind für die Construction der Auffangstangen an Blitzableitern in zwei Richtungen mass-

gebend; indem es darauf ankommt, die angesammelte Luftelektricität rasch abzuleiten und ihren Ausgleich mit der am oberen Ende der Auffangstange sich ansammelnden entgegengesetzten Elektricität zu fördern, ist es offenbar am raschesten erzielbar, wenn man diese in eine scharfe Spitze endigen lässt; dem steht aber wieder der Umstand entgegen, dass nur eine dunkle Entladung ohne Funkenbildung am Blitzableiter erwünscht ist, woraus folgt, dass man mit der Anwendung allzu scharfer Spitzen sich wieder von den zu erfüllenden Bedingungen einer rationellen Ableitung der atmosphärischen Elektricität entfernt.

Es ist sonach angezeigt, hierin nicht zu weit zu gehen, und dies umsomehr, als bei feinen Spitzen die mechanischen und Wärmewirkungen des elektrischen Funkens die Zerstörung derselben herbeiführen können.

Es hat sich ergeben, dass ein Ovoid, ein eiförmig geformter massiver oder hohler, jedoch hinreichend dicker Körper, beide Bedingungen zu erfüllen vermag, nämlich auf ziemlich bedeutende Entfernung einen raschen Ausgleich der hochgespannten entgegengesetzten Elektricitäten zu gestatten und dabei doch für Funkenentladung eine viel geringere Distanz als Kegelspitzen zwischen der Platte und dem Ovoid zu erfordern. Die mit Elektricität geladene Wolkenschicht muss nahezu zweimal näher an das Ende der Blitzableiterstange herabsinken, als bei einer etwa 20 bis 30 Grad haltenden Kegelspitze, wenn eine helle Entladung zwischen derselben und dem Ovoide stattfinden soll, ohne dass die Gefahr des Abschmelzens oder der mechanischen Abtrennung der Spitze von der Auffangstange beiweitem die ist, wie bei einer feinen Metallspitze.

Auch die Versuche über das Fernwirkungsgesetz lassen sich mit diesem geaichten Elektrometer nicht nur genau ausführen, sondern durch Projection auf einen Schirm mittelst des an der Nadel angebrachten Spiegelchens einem grösseren Auditorium sichtbar machen.

Zu diesem Zwecke dienen drei Klötzchen aus Hartgummi, die in die Mitte der unteren Platte des Elektrometers gesetzt werden, und hierauf wird durch die Mikrometerschraube die obere in Contact mit diesem Klötzchen gebracht. Die Ablenkung der Nadel giebt die Grösse der Induction bei gleichen Ladungen der oberen inducirenden Platten und ungleich hohen Klötzchen an, deren Dicke genau gemessen worden, die jedoch vor jeder Ladung zwischen den Platten wieder entfernt werden. Man findet so bei nicht zu starken Ladungen das Fernwirkungsgesetz ganz genau und kann die Versuche mit verschiedenen Empfindlichkeitsgraden des Elektrometers, d. h. bei astatischer, nicht astatischer Nadel und Nadel mit doppelter Richtkraft wiederholen, um dasselbe für verschiedene Spannungen nachzuweisen. Die relative Induction bleibt dieselbe für alle drei Distanzen bei allen drei Empfindlichkeitsgraden.

Je grösser die Ladungen, desto grösser werden die durch Zerstreuung und unvollkommene Isolation entstehenden Verluste; da aber eine Messung in sehr kurzer Zeit ausführbar ist, so stören diese hier weniger als bei den meisten anderen Elektrometern, bei denen die Dauer einer Messung bedeutend grösser ist. Das Universal-Elektrometer eignet sich auch sehr gut zu messenden Versuchen über die Zerstreuung der Elektricität im umgebenden Mittel bei verschiedenem Drucke, Temperatur und verschiedener Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft.

II. Gesetze der Zerstreuung der Elektricität.

Schon Coulomb hat sich mit der Frage beschäftigt, wovon die Elektricitätsverluste eines geladenen Körpers abhängen, und die Gesetze dieser Zerstreuung der Elektricität im umgebenden Mittel festzusetzen gesucht.

Er fand zunächst zwei Quellen dieses Verlustes, nämlich die Berührung des elektrischen Körpers mit der Luft und dann auch mit den Isolatoren, an denen er befestigt oder aufgehängt worden. Diese Isolation fand er immer mehr minder unvollkommen und veränderlich durch die an ihrer Oberfläche oft sich condensirende feine Schicht von Wasserdampf bei feuchter Luft.

Die Luft wirkt aber als mehr minder vollkommener Isolator in Folge der Veränderlichkeit des Druckes, der Temperatur und namentlich des Feuchtigkeitsgrades, ausserdem aber durch Fortführung (Convection), indem ihre so beweglichen Theilchen angezogen werden und, nachdem sie dieselbe Elektricität angenommen, wieder von der Oberfläche des elektrischen Körpers fortgetrieben werden, dadurch anderen Platz machend, bei denen das gleiche Spiel sich wiederholt.

Coulomb fand, dass Siegellack oder Schellack als gute Isolatoren zu betrachten sind, hingegen Glas in Folge der hygroskopischen Eigenschaft desselben durch Condensation von Wasserdampf an seiner Oberfläche viel schlechter isolire.

Schellack geschmolzen fand er hingegen selbst in feuchter Luft beinahe vollständig isolirend. Liegt er aber längere Zeit in sehr feuchter Luft, so kann eine Stange desselben so leitend werden, dass, wenn man den Knopf eines geladenen Elektroskopes mit der in der Hand ge-

haltenen Stange berührt, alle Elektricität desselben zur Erde abgeleitet wird. Eine Ueberführung auch nur auf etliche Secunden in einen lufttrockenen Raum entfernt aber sogleich die Feuchtigkeitsschicht der Oberfläche, und das Stäbchen ist wieder beinahe vollständig nichtleitend. Man braucht bei dem Universal-Elektrometer nur eine Lampe mit Blechkamin und enger Oeffnung so aufzustellen, dass von dem Spiegelchen der Nadel das dünne Lichtbündel auf eine Papierwand mit Theilung in Millimeter geworfen werde, und die Aenderung des Standes von 5 zu 5 Minuten oder auch bei sehr trockener Luft von 10 zu 10 Minuten zu notiren, um eine Reihe von Werthen zu erhalten, die mit der Zeit als Abscissen der elektrischen Dichte, als Ordinaten, das Gesetz der Abnahme durch Convection und Leitung in den umgebenden Mitteln empirisch darstellen. Coulomb benutzte seine Torsionswage, allein die Annäherung des Experimentators an das geladene Elektrometer, und die Verluste durch Zerstreuung während der Messung der Torsionswinkel, machen diese Versuche sehr misslich.

Coulomb fand, dass die Verluste nahezu proportional sind der Zeit, die seit der Ladung verflossen, und dass sie durch die Gleichung ausgedrückt werden können:

$$T = T_0 \, e^{-mt},$$

wo T_0 die Torsion für die Anfangszeit, T jene zur Zeit t, m eine Constante des Zerstreuungs-Coëfficienten für einen bestimmten Versuch, e die Basis der natürlichen Logarithmen bedeuten.

Coulomb fand, dass für geringe elektrische Dichten an den Oberflächen verschiedener Körper und in trockener Luft diese Constante m, der Zerstreuungs-Coëfficient, unabhängig sei von der Dimension, Gestalt und Natur

der elektrischen Körper. Für grosse Dichten hat aber die Gestalt der Körper einen wesentlichen Einfluss, welchen die oben erwähnten Versuche mit Kugel, Ellipsoid, Ovoid und Kegel deutlich genug zeigen.

Man kann in dem Glasgehäuse die Luft der Umgebung oder durch ein Schälchen von Chlorcalcium ganz getrocknete Luft dem Versuche unterziehen. Matteucci liess zu diesem Behufe das Gehäuse vollkommen luftdicht bei seinem Elektrometer herstellen, um es mit beliebigen Gasen von beliebiger Temperatur, Druck und Feuchtigkeitsgraden füllen zu können, doch befolgte er sonst ganz die Experimentirweise Coulomb's.

Er fand, dass ein rascher Gasstrom zwischen die elektrischen Körper geleitet, ihre Verluste nicht etwa vergrössere, sondern im Gegentheile wesentlich vermindere.

Er beobachtete die Verluste zweier gleichen Kugeln, wenn die eine ruhig an einem Seidenfaden hing, während auf die andere ein kräftiger Luftstrom geblasen wurde.

Er fand an der Kugel in unbewegter Luft den Zerstreuungs-Coëfficienten im Mittel $^1/_{12}$, in der bewegten hingegen blos $^1/_{14}$.

Nimmt man zwei isolirte gleiche Kugeln, die durch Berührung elektrisirt wurden, und trennt sie, so müssen beide gleiche Ladungen haben; bewegt man die eine heftig in der Luft, die andere hingegen nicht, so wird bei der Prüfung am Elektrometer die bewegte eine viel stärkere Ladung zeigen, als die unbewegt gebliebene.

So lange die Ladungen schwach sind, hat die Art der Elektricität keinen Einfluss auf den Verlust; bei starken Ladungen zeigte Faraday, dass die negativ elektrischen Körper mehr verlieren, als die positiv elektrischen.

Die Verluste vergrössern sich sehr mit dem Ansteigen der Temperatur; Matteucci fand die Verluste durch Zerstreuung in einem Versuche gleich gross bei:

0·0° C.	in	278	Minuten
13·5 „	„	250	„
22·0 „	„	167	„

Noch grösser sind die Zunahmen der Verluste bei steigender Feuchtigkeit der gasförmigen Umgebung des elektrischen Körpers, und ist derselbe, wie Coulomb fand, beinahe der dritten Potenz des Feuchtigkeitsgehaltes proportional. Die Aenderungen der Entfernung haben bedeutenden Einfluss auf die entstehenden Verluste. In vollkommen trockener Luft entstand ein Verlust von 10 Grad im Torsionswinkel zwischen den beiden Kugeln der Torsionswage, wenn ihre Bogenabstände waren:

18° C.	in	4·5	Minuten
25 „	„	6·0	„
26 „	„	6·5	„
36 „	„	10·5	„

Es ist ersichtlich, dass die Verluste nahezu dem Abstand der Kugeln umgekehrt proportional sind, die Luft verhält sich also beinahe wie ein dem Durchgang des Stromes Widerstand leistender Leiter, und befolgt sehr nahezu das Ohm'sche Widerstandsgesetz.

Der Druck der Gashülle ist ebenfalls von bedeutendem Einflusse, und das Maximum der Ladung, welche ein Körper annehmen kann, ist nahezu dem Drucke proportional.

Im luftleeren Raume verliert ein stark geladener Körper anfangs sehr rasch einen bedeutenden Theil seiner Ladung, später werden die Verluste in derselben Zeit geringer und nehmen endlich gleichmässig mit der Zeit zu.

Matteucci, dem wir diese Wahrnehmungen verdanken, machte seine Versuche zwischen 768 Mm. und 5 Mm. Druck, und er fand durch dieselben, dass sich bei sehr verdünnter Luft die Verluste verhalten wie die Verdünnung; die verdünnte Luft verhält sich also wie ein Leiter der Elektricität, denn die Menge von Elektricität, die an einem Leiter sich ansammeln kann, ist um so geringer, je kleiner der Druck der umgebenden Gashülle wird.

Die Verluste an elektrischer Spannung hängen daher von der ursprünglichen Ladung, von dem Zustand der Gashülle, von der Oberflächenleitung, sowie von der inneren Leitungsfähigkeit der Isolatoren ab.

Es ist namentlich bei der Handhabung der Elektometer und elektrischen Apparate überhaupt nützlich, dies zu wissen, um sich gegen Zerstreuungs- und Leitungsverluste nach Möglichkeit sichern zu können.

12. Die Induction in Nichtleitern, Elektrophore.

Die Erscheinungen der Vertheilung ändern sich nicht, wenn einem Nichtleiter ein elektrischer Leiter genähert wird, nur ist diese Einwirkung viel geringer, als bei einem Leiter der Elektricität.

Der Widerstand, der in diesen Körpern der Trennung beider elektrischer Zustände sich entgegenstellt, ist sehr gross und für jeden solchen Körper ein ganz bestimmter.

Bringt man den elektrischen Leiter in Berührung mit einem Nichtleiter der Elektricität, so entsteht kein Ausgleich der beiden entgegengesetzten Elektricitäten durch einen Funken wie bei zwei Leitern, die durch Vertheilung aufeinander einwirken, wenn sie einander

hinreichend genähert werden. Der Leiter wie der Nichtleiter bleiben elektrisch, und zwar entgegengesetzt elektrisch.

Hat man einen Nichtleiter, z. B. einen Harzkuchen oder eine Glasplatte aus hartem kalkhaltigen Glase, durch Reiben mit Pelzwerk oder einem Lederstreifen elektrisch gemacht und legt einen an Seidenfäden hängenden oder an einer isolirenden Handhabe befestigten Leiter, z. B. eine kreisförmige Metallplatte mit abgerundeten Kanten auf, so wird dieselbe durch Vertheilung elektrisch, und berührt man mit der Hand ableitend, so wird die mit dem elektrisirten Isolator gleichnamige abgestossene Elektricität zum Boden abgeleitet, hingegen die ungleichnamige abgestossene auf der Platte sich ansammeln, und zwar an der dem Isolator zugewendeten oder berührenden Fläche.

Hebt man die isolirte Metallplatte an dem Faden oder der Handhabe ab, so findet man sie entgegengesetzt elektrisch, wie den geriebenen Isolator, also positiv bei einem Harzkuchen, negativ bei einer Glasplatte.

Man kann einen Funken erhalten, während der Harzkuchen oder die Glasplatte nichts an elektrischer Ladung verliert, auch bei wiederholtem Auflegen der Metallplatte.

Man nennt diesen Apparat einen Elektrophor, weil er zum stetigen Träger des elektrischen Zustandes sich eignet und man von demselben ziemlich bedeutende elektrische Ladungen und Entladungen (Funken) erhalten kann. Wegen der hygroskopischen Eigenschaft des Glases benutzt man gewöhnlich Harzkuchen aus einer Mischung von Pech, Wachs und Marineleim gegossen, und durch Darüberhalten eines rothglühenden Eisenbleches von

allen Unebenheiten, Rissen und Blasen befreit, oder nimmt eine Hartgummiplatte. Ebenso muss die Teller genannte kreisförmige Metallplatte wegen der störenden Wirkung von Spitzen und scharfen Kanten gut abgerundet an dem Umfange und ganz glatt ohne Rauhheiten an der Oberfläche sein. Berührt man mit dem positiv elektrischen, von dem Harzkuchen abgehobenen Teller den Kuchen so, dass als Berührungsstelle die Kante des Tellers fungirt, so hört man einen knisternden

Fig. 22.



Funken zwischen dem positiven Teller und dem negativen Harzkuchen überspringen, es wird sonach der Ausgleich an den der Berührungsstelle zunächst liegenden Punkten zwischen den entgegengesetzten Elektricitäten stattfinden, und man findet an dem wieder abgehobenen Teller nur mehr eine schwache positive Ladung vor.

Auf der Oberfläche des Harzkuchens hingegen findet man zunächst der Berührungsstelle eine Zone der Oberfläche positiv elektrisch, weiterhin unelektrisch, und hinter dieser zweiten Zone ist die Oberfläche des Harzkuchens unverändert negativ elektrisch.

Man kann diese verschiedenen elektrischen Zustände der Oberfläche sichtbar machen, indem man auf die Oberfläche eine innige Mischung von Mennig und Schwefelblumen durch einen Musselinbeutel aufstäubt. Die beiden pulverförmigen Körper reiben sich aneinander, werden entgegengesetzt elektrisch, und es setzt sich daher der negativ elektrische Schwefel an den positiv elektrischen, der positiv elektrische Mennig hingegen an den negativen Stellen an, die neutrale Stelle aber wirkt nicht auf die Pulver; bläst man sanft darauf, so wird das aufgestäubte Pulver entfernt, und die neutrale Zone zwischen der positiven und negativen erscheint als blanke Harzoberfläche und trennt beide voneinander.

Man nennt diese Erscheinung nach ihrem Entdecker Lichtenberg'sche Figuren.

Besser noch als Harzkuchen, und weniger dem Bruch und Veränderungen der Oberfläche ausgesetzt, sind die aus einer Hartgummi-(Ebonit-)Platte gefertigten Elektrophore. Eine kreisförmige Platte von $1^1/_2$ bis 2 Mm. Stärke liegt auf einer Metallplatte, von der aus ein spitzer Stift die Platte am Rande durchsetzt und mit der Spitze in ihrer Oberfläche endet. Ein mit einer Glasstange als Griff versehener Metallteller, von etwa ein Drittel geringerem Durchmesser als die Metallplatte, an der unteren Fläche ganz eben und polirt mit abgerundeten Kanten, wird so aufgelegt, dass er mit seinem Rande die Metallspitze berührt; man hat dann nicht nöthig, den Metallteller mit dem Finger ableitend zu berühren, da die Spitze die in Folge der Vertheilung abgestossene negative Elektricität zur unteren Metallplatte und zur Erde abführt. Ein solcher Elektrophor von nur 2 Zoll Durchmesser gibt Funken von nahezu $^1/_4$ Zoll Länge. Zum Elektri-

siren benutzt man ein Stück Pelzwerk als Reibzeug oder man peitscht mit einem Fuchsschweif, bis ein knisterndes Geräusch die erfolgte Erregung anzeigt.

Hat man eine recht glatte und stark erregte Ebonitplatte, und zeichnet man mit einem feuchten Holzstifte, oder auch blos mit dem Finger Figuren auf der Oberfläche derselben und bestäubt diese, wie oben erwähnt, mit der Mischung von Mennig und Schwefel, so reproduciren sich diese gelb mit schwarzer Begrenzung auf rothem Grunde.

Diese Versuche zeigen, dass bei einem guten Isolator die durch Vertheilung hervorgebrachte Wirkung sehr gering ist, und sie müsste Null sein, wenn es absolute Isolatoren gäbe.

Nähert man einen hinreichend stark elektrischen Körper einem Pendel, dessen Kugel statt aus Hollundermark aus Schellack besteht, so findet immer etwas Anziehung an dem Pendel statt; wäre Schellack ein absoluter Isolator, so dürfte keine solche Einwirkung erfolgen. Matteucci fand mit Kügelchen aus Blei, Schwefel und Harz, dass diese Einwirkungen sich verhielten wie:

$$1 : 0{\cdot}525 : 0{\cdot}480.$$

Für die Isolatoren ist sie also bei zweimal geringer, als für das Metall.

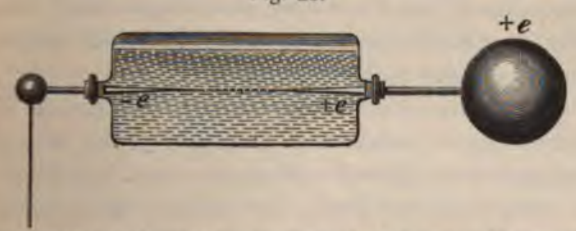
Berührt der inducirende Körper den Isolator, so entsteht natürlich eine viel kräftigere, aber zugleich eine dauernde Einwirkung. Schon Aepinus fand, dass ein Glasstab, mit einem stark positiv elektrisch geladenen Körper in Berührung gebracht, an der Berührungsstelle eine stark positive Zone, weiter aber eine negative Zone zeige, und dass sich diese Zonen abwechselnd positiv und negativ bis sechsmal wiederholen. Besser noch

gelingt das Experiment mit einer Schellack- oder Hartgummistange.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nahmen Matteucci und Faraday eine moleculare Polarisation der kleinsten Theilchen der Isolatoren, ähnlich wie bei Magneten an.

Faraday brachte in ein Glasgefäss mit zwei Oeffnungen in den parallelen Wänden, durch welche Metallstäbchen, die in feinen Spitzen enden, gehen und eingekittet sind (Fig. 23), Bruchstücke feiner Glasfäden oder Seidenfäserchen, und füllte das Gefäss mit Terpentinöl, so dass

Fig. 23.



die Spitzen $s s_1$ nahezu 1 Zoll hoch vom Terpentinöl bedeckt sind. Sobald die eine Spitze mit der Erde, die andere mit einer starken Elektricitätsquelle in Berührung gebracht wurde, reihten sich die Stückchen Glas oder die Seidenfäserchen zwischen den Spitzen zu einer continuirlichen Kette zusammen, sie waren an ihren Enden entgegengesetzt elektrisch geworden und zogen sich mit diesen an, wie Eisenfeilspäne zwischen den Polen eines Magnets. Hört die elektrische Einwirkung auf, so fallen die Ketten wider auseinander.

Faraday zeigte, dass die Elektricität bei Isolatoren nicht blos an der Oberfläche sich ansammle, sondern dass sie in das Innere derselben eindringe.

Er benutzte dazu Platten von Walrath oder Schwefel, versah sie auf entgegengesetzten Seiten mit etwas kleineren Metallplatten als ihre zueinander parallelen Oberflächen, verband das eine Belege mit der Erde, das andere mit einer starken Elektricitätsquelle.

Hob er diese Verbindungen wieder auf und brachte dann beide Belege in Berührung mit einem Entlader, berührte er sie beide z. B. mit den Fingern, so zeigten sich beide Belege unelektrisch, sie nahmen aber bald beide neuerdings elektrische, und zwar entgegengesetzte Zustände an. Die Elektricität war also durch beide Oberflächen hindurch in das Innere der Isolatorplatten gedrungen, nach der Entladung der Belege drang dieselbe wieder zur Oberfläche hervor und lud beide Belege mit entgegengesetzter Elektricität.

Nimmt man zwei Isolatorplatten, welche auf ihren vorderen Seiten Metallbelege tragen, legt sie mit ihren unbelegten Rückflächen aneinander, und verbindet das eine Belege mit der Erde, das andere mit einer z. B. positiven Elektricitätsquelle, isolirt nach längerer Einwirkung die Belege, entladet sie, so zeigen sie sich unelektrisch.

Trennt man aber die Platten voneinander, so erweist sich die der positiven Elektricitätsquelle zugewendete Belegung stark positiv, ebenso die andere negativ elektrisch. Die positiven und negativen elektrischen Zustände sind daher durch eine Mittelzone, die Berührungsflächen beider Platten, voneinander getrennt.

Matteucci machte einen ähnlichen Versuch mit einer Säule aus Glimmerplättchen, deren Endflächen Metallbelege trugen; wurden diese nach der Entladung der Belege rasch zerlegt, so fanden sich alle von der mitt-

leren Glimmerplatte nach dem mit der Erde verbundenen Ende zu negativ, die der positiven Elektricitätsquelle zugekehrten dagegen positiv elektrisch, und zwar um so stärker, je näher sie den beiden Endbelegen sind.

13. Elektrische Schirmwirkung.

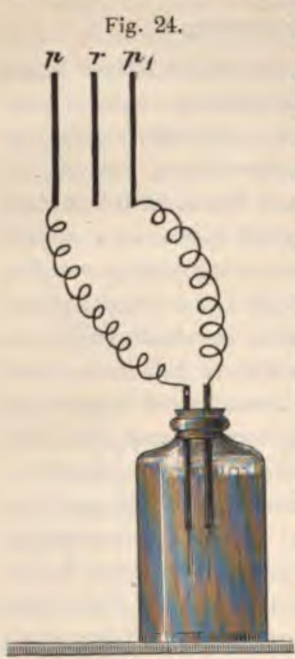
Bringt man zwischen zwei elektrische Körper einen anderen Körper, so wird die Einwirkung beider aufeinander modificirt. Ist der Körper ein schlechter Leiter oder ein Isolator, so wird die Inductionswirkung verstärkt.

Ein Goldblatt-Elektroskop mit Platte, statt mit einer Kugel als Zuleiter versehen, wird durch eine isolirte elektrische Platte, welche über ersterer aufgehängt worden, durch Vertheilung elektrisch und die Goldblättchen divergiren. Bringt man eine an isolirender Handhabe befestigte, vorher in trockener Luft aufbewahrte Schellack- oder Schwefelkugel zwischen beide Platten, so divergiren die Blättchen noch mehr, die Inductionswirkung wird also durch den dazwischen gebrachten Isolator vergrössert.

Faraday hat mit einer Reihe solcher Körper Versuche angestellt, indem er drei gleiche plattenförmige isolirte Leiter anwandte, wovon der mittlere r von beiden Endplatten gleichweit abstehende mit positiver Elektricität geladen wurde. Waren diese mit einem Elektroskope verbunden, durch dessen Glashülle zwei isolirte Zuleitungsdrähte hindurchgingen, mit Goldblättchen an ihren Enden, während die beiden Zuleitungsdrähte durch Drahtspiralen mit den Endplatten p und p_1 in Verbindung standen, so werden diese durch Vertheilung elektrisch; berührt man sie mit dem Finger, so wird die positive Elektricität abgeleitet und beide sind gleich stark negativ elektrisch,

die parallelen Goldblättchen im Elektroskope bleiben jedoch unafficirt, haben also keine merkliche freie Elektricität. Nähert man eine der beiden Endplatten, z. B. p, der mittleren Platte r, so ziehen sich die beiden Goldblättchen an, und zwar zeigt sich bei der Prüfung mit einem geriebenen Glasstabe dasjenige Goldblättchen positiv elektrisch, welches mit der genäherten Platte p in Verbindung steht, während das andere mit der Platte p_1 in Verbindung stehende sich negativ elektrisch erweist.

Fig. 24.



Die Annäherung bringt eine vermehrte Vertheilungswirkung an der Platte p und eine verminderte an der Platte p_1 hervor.

Bringt man, statt die Platte p zu nähern, zwischen die Platte p und die Mittelplatte r eine Platte aus einem Isolator, so entsteht dieselbe Wirkung am Elektroskope wie im vorstehenden Falle, der Ausschlag der Plättchen wird grösser.

Der Isolatorschirm hat also dieselbe Wirkung, wie die Verkleinerung der Distanz der Platten in der Luft oder die Verkleinerung der Luftschicht zwischen beiden. Faraday nennt daher solche isolirende Körper dielektrische Mittel. Offenbar ist die Vertheilungswirkung durch eine Schicht des Isolators oder dielektrischen Mittels grösser, als durch eine gleich dicke Schicht Luft.

Faraday nennt nun das specifische Inductionsvermögen eines dielektrischen Mittels (Isolators) das Verhältniss der durch Vertheilung in einer gleich dicken Schicht desselben und der Luft erzeugten Elektricitätsmengen.

Ist der Abstand zweier Platten gering gegen die Dimensionen derselben, so ist die Grösse der Inductionswirkung sehr nahe der Dicke der Schicht des dielektrischen Mittels umgekehrt proportional. Dadurch wird die Bestimmung des specifischen Inductionsvermögens sehr erleichtert. Hat man durch die Einschaltung des Isolatorschirmes zwischen den Platten p und p_1 die Plättchen zur Anziehung gebracht, so kann man durch Entfernung der einen Endplatte p von der Mittelplatte r die Blättchen wieder in die unabgelenkte Lage zurückführen. Ist nun d die Dicke der dielektrischen Platte (des Isolatorschirmes) und d' die Dicke, um welche die Luftschicht zwischen den Platten p und r vergrössert werden musste, um die gleiche Inductionswirkung wiederherzustellen, und ist s das specifische Inductionsvermögen des Dielektricums, so ist die Luftschicht von der Dicke d äquivalent einer Luftschicht, deren Dicke d_1 der Dicke des isolirenden Schirmes, mehr der Dicke der Luftschicht $\left(\frac{d}{s}\right)$, welche äquivalent ist der Wirkung des isolirenden Schirmes, dessen specifisches Inductionsvermögen $s$mal grösser ist, als das einer gleichen Luftschicht. Man hat sonach:

$$d = d_1 + \frac{d}{s}, \text{ woraus folgt: } d - d_1 = \frac{d}{s}$$

$$s = \frac{d}{d - d_1} = \frac{1}{1 - \frac{d_1}{d}}$$

Faraday bestimmte das specifische Inductionsvermögen verschiedener Isolatoren in ähnlicher Weise, wie lange vor ihm Cavendish. Er bediente sich dazu zweier ganz gleicher Apparate folgender Einrichtung:

Eine messingene Kugel von $2^1/_3$ Zoll Durchmesser

Fig. 25.



war von einer aus zwei Halbkugeln zusammengesetzten Hohlkugel, ebenfalls von Messing, deren Durchmesser 3 Zoll betrug, umgeben, so dass zwischen beiden Kugeln ein Zwischenraum von $^2/_3$ Zoll zwischen den Oberflächen derselben frei blieb.

Die obere Hohlkugel hatte einen Hals, durch den eine isolirende Röhre ging, mit einem Drahte in ihrer

Axe, welcher die innere Kugel mit einer kleineren aussen am Ende dieser Röhre verband. Der untere Theil der Hohlkugel war mit einer Ansatzröhre mit Hahn versehen, um den luftdicht geschlossenen Hohlraum mittelst einer Luftpumpe auspumpen und verschiedene Gase hineinleiten zu können.

Ein zweiter gleicher Apparat war so eingerichtet, dass man den Hohlraum zwischen den Kugeln mit anderen festen oder flüssigen Isolatoren ausfüllen konnte. Beide Apparate wurden nebeneinander aufgestellt und die Hohlkugeln beide mit der Erde verbunden. Hierauf lud er nun die eine innere Kugel mit z. B. positiver Elektricität und mass ihr Potential mit der Drehwage, dann wurden die beiden inneren Kugeln miteinander verbunden und ihr Potential neuerlich gemessen. Ist nun in dem einen Apparat eine Füllung des Hohlraumes von einer Substanz mit grösserem specifischen Inductionsvermögen, so haben die beiden inneren Kugeln nicht gleiches Potential, sondern diejenige hat das grössere, welche mit der Substanz von grösserem specifischen Inductionsvermögen umgeben ist.

Waren beide hingegen mit Luft gefüllt, so waren ihre Potentiale ganz gleich; hierauf wurde mit diesen Apparaten das specifische Inductionsvermögen von Luft verglichen mit jenem von Schellack, Glas, Schwefel und Terpentinöl.

Faraday fand das specifische Inductionsvermögen, die Luft als Einheit genommen:

Luft	1·00
Schellack	2·00
Schwefel	2·24
Glas etwa . . .	1·76
Terpentin mehr als	2·00

In ähnlicher Weise in neuerer Zeit vorgenommene Versuche ergaben:

Luft	1·00	Harz	2·55
Hartgummi . .	3·15	Kautschuk . .	2·34
Schwefel . . .	3·84	Petroleum . .	2·05
Paraffin . . .	2·32	Krystall. Benzol	2·20



Fig. 26.

Mehrere neuere Methoden gaben auf ganz anderem Wege nahezu dieselben Werthe, wiewohl in einzelnen Fällen die Abweichungen, namentlich bei verschiedenen Glassorten, gegenüber den Resultaten der älteren Versuche bedeutend sind.

Ist der Schirm ein mehr oder minder gut isolirter Leiter, so vergrössert seine Zwischenstellung die Induction sogar noch mehr als ein Nichtleiter. Allein ist dieser Leiter nicht isolirt, steht er mit der Erde in Verbindung, so hebt er alle Vertheilungswirkung auf.

Bringt man zwischen den isolirten, mit elektrischen Pendeln versehenen Metallcylinder und die inducirend wirkende isolirte Metallkugel einen Metallschirm, der mit der Erde in Verbindung steht, z. B. in der Hand gehalten wird, so fallen alle Pendel sogleich zusammen. Der nicht isolirte Schirm hebt also die Vertheilungswirkung im Cylinder vollkommen auf.

Ist der Schirm hinreichend gross, so verschwindet alle Einwirkung auch auf ein empfindliches Elektroskop. Die Schirmplatte ladet sich hierbei mit entgegengesetzter, jedoch etwas schwächerer Elektricität als der z. B. positiv inducirende Körper K an der zugewendeten Seite, während an der abgewendeten sich die gleichnamige, hier positive Elektricität befindet.

Die positive Kugel k wirkt schwach, da ihr die negative des Schirmes entgegenwirkt, und die Wirkung der positiven Elektricität derselben ist bei grosser Ausdehnung des Schirmes sehr schwach wegen der grossen Ausdehnung des Schirmes. Dieser verhält sich sonach nahezu wie ein mit der Erde verbundener Schirm.

Fig. 27.



Hierher gehört auch ein wichtiger Versuch Faraday's, welcher eine metallene Halbkugel auf einen dünneren Schellackcylinder aufsetzte, dessen obere mit derselben in Berührung stehende Hälfte durch Reiben stark erregt wurde. Brachte er nun ein Probescheibchen mit einem Metallkügelchen am Ende in verschiedene Lagen gegen die Halbkugel, welche zuvörderst mit dem Finger ableitend berührt worden war, und berührte das Probekügelchen ebenfalls mit dem Finger in diesen verschiedenen Lagen, so fand er an einer Torsionswage die Kügelchen sehr verschieden positiv elektrisch.

In den Lagen I, II, III kann die elektrische Lackstange in gerader Linie auf das Kügelchen vertheilend einwirken, für die Position hingegen wird die Wirkung nahezu Null, da die Vertheilung nicht mehr in gerader Linie erfolgen

kann. Geht man höher herauf mit dem Probekügelchen, z. B. nach 4, so wird die Wirkung merklicher; im Allgemeinen giebt es Richtungslinien, nach denen hin die Abschwächung eine gleichmässige ist. Sie wächst in der Lage 5 zu einem Maximum, um höher hinauf wider abzunehmen. Faraday schliesst hieraus auf eine Polarisation der Luftmoleküle, die sich mit ihren entgegengesetzt polaren Enden aneinander reihen und so Curven bilden, denen entlang die Wirkung der Induction sich fortpflanzt, wie in dem Versuche mit Terpentinöl und darin schwimmenden leichten Körperchen sichtbar wird.

Diese Linien nennt er Kraftlinien, und man findet so, dass sie um einen elektrischen Körper herum in mehr minder regelmässigen Curven sich vertheilen, je nach der Gestalt der einander genäherten elektrischen Körper. Sie breiten sich dann in grösserer Entfernung von denselben immer mehr aus.

Die Wirkung in einem gegebenen Punkte der Umgebung eines elektrischen Körpers wird nach Faraday um so grösser, je mehr Kraftlinien durch diesen Punkt hindurch gehen; so erklären sich die Punkte maximaler Wirkung, wie sie der obige Versuch ergiebt.

Diese Versuche geben aber dasselbe Resultat in einem luftleeren Raume, woraus hervorgeht, dass die Wirkungen der Induction an das Vorhandensein materieller Theilchen nicht gebunden sind, und Faraday's Kraftlinien lassen sich in der That durch die blosse Fernwirkung nach dem bekannten Fernwirkungsgesetze erklären.

Die elektrischen Kraftlinien, welche sich auch in diesem Falle bilden, sind sonach an das Vorhandensein materieller Theilchen nicht gebunden.

Sie erklären sich vielmehr blos durch die Fernwirkung der Elektricität, die nach gewissen Richtungen stattfindet, wenn ihrer geradlinigen Einwirkung ein Hinderniss entgegensteht.

Faraday zeigte, dass die Resultante der elektrischen Wirkungen auf einen Punkt durch beliebig viele elektrische Körper die Tangente sei zu der Curve oder Kraftlinie, welche durch diesen Punkt geht.

Aus einem elektrisirten Leiter gehen die Kraftlinien senkrecht zu seiner Oberfläche aus und zerstreuen sich dann nach einem bestimmten Gesetze in der Umgebung desselben.

Sie sind die Resultirenden der von verschiedenen Punkten, z. B. des Schellackcylinders und der Halbkugel, ausgehenden entgegengesetzten Fernwirkungen auf beliebige Umgebungspunkte der elektrischen Körper, und erstere sind den in diesen Punkten an die Curven gezogenen Tangenten proportional.

Ist eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes vorhanden, d. h. findet eine Fortbewegung der Elektricität im Raume statt, so ist dieses Streben zur Fortbewegung immer hervorgerufen durch den Unterschied zweier solcher Fernwirkungen. Die Kraftlinie für irgend einen Punkt könnte also angesehen werden als die Richtungslinie, in welcher ein elektrischer Körper, in diesen Punkt gestellt, sich bewegen würde.

14. Das Potential und die Aequipotentialflächen.

Entsteht nach dem Vorangehenden das Streben der Elektricität, im Raume sich fortzubewegen, so entspringt dies Streben aus der Differenz zweier entgegengesetzter

elektrischer Fernwirkungen, und man sagt es bestehe eine Differenz des Potentials zwischen zwei Körpern.

Es ist Sprachgebrauch, zu sagen, dass der Körper, von dem die positive Elektricität sich zu bewegen strebt, das höhere Potential besitze, als jener, von dem die negative Elektricität ausgeht.

Soll das elektrische Gleichgewicht gestört werden, so ist dazu eine Kraft erforderlich, die genügt, die Elektricität in der entgegengesetzten Richtung, in welcher sie sich zu bewegen strebt, fortzubewegen.

Die Differenz des Potentials zwischen zwei Punkten nennt man nun jene Arbeitsleistung, welche erforderlich wird, die Einheit der Elektricitätsmenge von dem einen zum andern Punkte zu treiben, und zwar in einer Richtung, welche jener entgegengesetzt ist, in welcher diese sich zu bewegen strebt.

Spricht man von dem Potential eines Punktes, so ist damit stillschweigend der Potentialunterschied desselben und der Erdoberfläche, deren Potential gewöhnlich als Ausgangspunkt dient und zu Null angenommen wird, verstanden.

Geradeso sprechen wir von der Höhe eines Gegenstandes, verstehen darunter aber den Unterschied der Höhe desselben und der Höhe der Erdoberfläche, deren Höhe also Null gesetzt wird.

Kennen wir nach Obigem die elektrische Ladung eines Körpers, die Entfernungen zweier Punkte von ihm und das Fernwirkungsgesetz der Elektricität, so ist das Mass der Anziehung:

$$\frac{e}{r^2};$$

daraus ergiebt sich der Unterschied des Potentials V_r und

V_{r_1} für die Entfernungen r und r_1 beider Punkte vom elektrischen Körper:

$$Vr - V_{r_1} = \int_{r_1}^{r} \left(-\frac{e}{r^2}\right) dr = \frac{e}{r} - \frac{e}{r_1}.$$

Ist einer der Punkte ein Punkt der Erdoberfläche selbst, so nimmt man:

$$\frac{e}{r_1} = 0 \text{ an,}$$

sonach ist das Potential des andern Punktes:

$$V = \frac{e}{r}.$$

Wirken mehrere elektrische Körper auf einen Punkt, so ist ihre Wirkung auf denselben die algebraische Summe der Potentiale der einzelnen elektrischen Körper.

Werden zwei Leiter, welche eine Differenz des Potentials aufweisen, durch einen dritten Leiter in Verbindung gesetzt, so bewegt sich die Elektricität so lange zwischen beiden Leitern, bis die Differenz sich ausgeglichen hat, es entsteht ein elektrischer Strom.

Wird Arbeit aufgewendet, so ist es möglich, die Differenz unausgesetzt zu erhalten, und es entsteht ein continuirlicher Strom; wird hingegen keine Arbeit aufgewendet, so gleicht sich die Potentialdifferenz sogleich aus und alle Theile eines solchen Körpers erhalten das gleiche Potential.

Die Elektricität bewegt sich stets auf den Körpern von Punkten mit höherem Potential zu jenen mit niederem, bis alle Punkte dasselbe haben. Handelt es sich nur um einen elektrisch gewordenen Körper, so pflegt man die Gesetze der elektrischen Erscheinungen in diesem Falle

als jene statischer Elektricität zu bezeichnen, weil die Elektricität sich nicht in Bewegung befindet. Entsteht aber eine solche, so fallen die Gesetze dieser elektrischen Erscheinungen in das Bereich der Elektrodynamik, und diese weichen wesentlich von denen der statischen Elektricität ab.

Man nennt nun alle Punkte, deren Potential das gleiche ist, äquipotentiale Punkte; verbindet man sie durch eine Linie, so heisst diese eine äquipotentiale Linie. Ist das Potential an einer Körperoberfläche überall gleich, so heisst die Oberfläche eine äquipotentiale Fläche.

Ist ein Körper elektrisch geworden, so ist sein Potential zunächst der Oberfläche desselben am grössten und nimmt dann nach aussen hin nach allen Richtungen ab.

Es werden sich aber immer um den Körper herum Punkte finden lassen, welche dasselbe Potential haben, eine durch sie gelegte Fläche wird den elektrischen Körper als hohle Schale umschliessen, und diese wird dann eine Aquipotentialfläche in Bezug auf diesen Körper sein. Ist der Körper eine Kugel, so ist die Dichte der Elektricität auf der Oberfläche überall dieselbe, und die Aequipotentialflächen sind lauter die elektrische Kugeloberfläche umschliessende concentrische Hohlkugelflächen; sind zwei oder mehr elektrische Kugeln vorhanden oder ist die Oberfläche des elektrischen Körpers keine Kugel, so compliciren sich diese Aequipotentialflächen mehr und mehr.

Es ist aber offenbar, dass auf einer Aequipotential-Oberfläche keine Tendenz der Elektricität, sich von einem Punkte derselben nach einem andern zu bewegen, vor-

handen ist, d. h. es ist keine diesbezügliche Kraft vorhanden, ein geladener Körper kann sonach über ihre Oberfläche hin bewegt werden ohne jeden Arbeitsaufwand.

Die geladene, elektrische Oberfläche eines Körpers ist also stets als eine Aequipotentialfläche zu betrachten.

Es müssen nach Vorigem auf diese Fläche alle Kraftlinien senkrecht stehen, denn wären sie schief gestellt, so könnten sie in eine senkrechte Componente und in eine in der Fläche selbst gelegene zerlegt gedacht werden; nach Obigem wirkt aber in dieser keine Kraft, also auch kein Theil der in der Richtung der Kraftlinien wirksamen elektrischen Kraft.

Das Mass der elektrischen Kraft in irgend einem Punkte nach irgend einer Richtung ist die Aenderung des Potentials nach dieser Richtung hin, wenn wir uns die Elektricität von diesem Punkte und dieser Richtung sich fortbewegend denken.

Nach obiger Definition ist also das Potential V ausdrückbar durch die Gleichung:

$$V = \int f\, dr + C,$$

also ist: $\frac{dV}{dr} = f$ der Ausdruck für die Kraft in ihrer Abhängigkeit von der Aenderung des Potentials V und der Entfernung r von der Oberfläche des elektrischen Körpers.

15. Messung des Potentials nach absolutem Masse.

Um Einheit in die wissenschaftlichen Messungen zu bringen, wurde das Metersystem der Messung elektrischer Ladung, des elektrischen Potentials, des elektrischen Stromes, des elektrischen Widerstandes u. s. w.

in neuester Zeit zu Grunde gelegt; und um für alle Fälle passende Zahlen zu erhalten, als Einheit der Dimension der hundertste Theil des Meters, das Centimeter, als Einheit der Masse das Gewicht des Kubikcentimeters Wasser bei seiner grössten Dichte, das Gramm, und als Einheit der Zeit die Secunde mittlerer Sonnenzeit gewählt.

Das so entstandene Mass wird das Centimeter-Gramm-Secunden-Mass genannt.

Durch Vergleichung der elektrischen Wirkung mit der nöthigen mechanischen Arbeit, welche diese gerade aufhebt, d. h. die Bestimmung der äquivalenten Arbeit zu einer gegebenen elektrischen, nennt man das Messen in absolutem Masse.

Es ist also dieses eigentlich das Messen der elektrischen Wirkung in mechanischem Masse, welches selbst auf die Dimension: „Centimeter", auf die Masse: „das Gramm" und auf die Zeiteinheit: „die Secunde" bezogen wird.

Die Masse eines Körpers ist die Menge materieller Theilchen, welche in ihm enthalten sind, sein Gewicht hingegen die Masse desselben multiplicirt mit der Acceleration der Schwere am Erdorte.

Die Wägung mittelst derselben Elasticitäts-(Feder-) Wage zweier Körper an zwei verschiedenen Erdorten kann nicht zur Massenbestimmung dienen, weil die Acceleration sich von Ort zu Ort ändert und die Gewichte nicht mehr den Massen proportional sind. Man wählte das Centimeter statt des Meters, weil das Gewicht eines Kubikmeters 10^6 Gramm geben würde, bei einem Kubikcentimeter aber ist das specifische Gewicht blos ein Gramm und fällt mit der Dichte numerisch zusammen, für welche Wasser bei seiner grössten Dichte als

nheit angenommen wird. Die Einheit der Masse ist
so die Anzahl materieller Theilchen enthalten in einem
ubikcentimeter Wasser grösster Dichte (bei 4 Grad C.).

Die Geschwindigkeit ist die in Centimetern ausge-
ückte Wegstrecke, welche in einer Secunde bei gleich-
rmiger Bewegung des Körpers zurückgelegt wird; die
nheit der Geschwindigkeit ist also jene, mit welcher
n Körper in einer Secunde ein Centimeter Wegstrecke
rücklegt.

Ist die Bewegung nicht gleichförmig, so nimmt sie
n einen gewissen Betrag in jeder Secunde zu oder ab,
nd diesen nennt man Acceleration oder Retardation.

Würden an einem bewegten Körper zwei Kräfte
eselbe Retardation und Acceleration hervorrufen, so
irfte weder eine Verzögerung noch eine Beschleunigung
folgen, der Körper würde sich mit constanter Geschwin-
gkeit bewegen. Man bezeichnet daher die Retardation
s negative Acceleration und misst beide in selber Weise.

Die Acceleration ist gleichförmig, wenn sich die
ewegung in jeder Zeiteinheit um gleich viel beschleunigt,
ngleichförmig, wenn sie in jeder folgenden Secunde
om Anbeginn eine andere ist.

Die gleichförmige Acceleration wird also durch die
nzahl von Geschwindigkeits-Einheiten gemessen, um
elche sich die Geschwindigkeit in der Zeiteinheit einer
ecunde ändert.

Die Einheit der Acceleration ist also die Zunahme
r Geschwindigkeit in einer Secunde um ein Centi-
eter.

Als Einheit der Kraft bezeichnet man in diesem
ass-Systeme jene Kraft, welche an der Einheit der
asse (eines Gramms), eine Secunde lang wirkend, die

Geschwindigkeit derselben um ein Centimeter in der Secunde zu vergrössern vermag.

Man nannte diese Einheit eine Dyne (von δύναμις Kraft). Da die Geschwindigkeit eines im leeren Raume freifallenden Körpers in Folge der Erdschwere um 980·89 Centimeter in der Secunde zunimmt, so wirkt die Erdschwere auf einen Körper auf ihrer Oberfläche mit 980·89 Kräfteeinheiten (Dynen) auf die Masseneinheit oder es sind 980·89 Dynen erforderlich, ein Gramm an der Erdoberfläche im Gleichgewichte zu erhalten.

Es ist also eine Dyne nahezu $\frac{1}{981}$ der Wirkung der Schwere auf ein Gramm an der Erdoberfläche.

Als Einheit der Arbeit (ἔργον), Erg, nimmt man jene Arbeit an, welche ein Dyne auf einer Wegstrecke von einem Centimeter hervorbringt.

Lässt man ein Gramm von der Höhe eines Centimeters fallen, so werden also 981 Ergs Arbeit geleistet.

Als Einheit der Elektricitätsmenge oder Quantität nimmt man jene Menge an, welche in der Entfernung eines Centimeters eine gleichgrosse und gleichnamige Elektricitätsmenge mit der Kraft einer Dyne abstösst.

Würde man dem Kügelchen an einem Torsions-Elektrometer, dessen Durchmesser viel kleiner als ein Centimeter sein muss, die Ladung von zwei Einheiten ertheilen, das gleich grosse Kügelchen des Wagebalkens durch Drehung am Torsionskreise zur Berührung damit bringen, so würden beide die Ladung einer Einheit besitzen; brächte man durch Zurückdrehen des Torsionskreises die Kügelchen hierauf in den Abstand eines Centimeters voneinander, so wirkt die Kraft einer Dyne zwischen beiden und ist durch die Torsion in Gleich-

gewicht erhalten, also der dem entsprechenden Torsionswinkel zukommenden Torsionskraft äquivalent.

Durch Ladungen von 4, 6, 8 etc. . . $2n$ Dynes erhält man also die Ablesungen am Torsionskreis entsprechend 2, 3, 4 . . . n Dynen; d. h. man kann so das Elektrometer auf absolutes Mass aichen.

Vergleicht man die gleichen Ladungen entsprechenden Ablesungen an einem Peltier'schen Elektrometer, einem Sinus-Elektrometer oder an einem Zenger'schen Universal-Elektrometer in gleicher Weise, so hat man diese Instrumente mittelst der Torsionswage auf absolutes Mass geaicht.

Es genügt jedoch eine einzige genaue Bestimmung für eine Dyne, indem sich aus der Aichtabelle z. B. des Universal-Elektrometers die weitere Theilung in absolutem Masse von selbst ergiebt. Es genügt, noch einen Controlversuch mit einer höheren Ladung zu machen, um die Genauigkeit der erhaltenen Aichung bestimmen zu können.

Ist die Aichung am Universal-Elektrometer für alle sechs Empfindlichkeitsgrade durchgeführt worden, so hat man an demselben ein absolutes Elektrometer mit sehr weiten Grenzen.

Man kann so die Reductionstafeln für absolutes Mass mit mehr Sicherheit und Genauigkeit herstellen, als die directe Messung mit hiefür eigens construirten Apparaten ergiebt, welche man absolute Elektrometer nennt.

Als Einheit des Potentials nimmt man nach Obigem bei diesen Elektrometern jenes an, das der Einwirkung der Einheit der Elektricitätsmenge in der Entfernung von 1 Cm. entspricht.

Die Einheit der Potentialdifferenz ist dann jene Differenz des Potentials, welche zwischen zwei Körpern

existiren muss, damit die Arbeitseinheit (ein Erg) erfordert werde, um die Einheit positiver Elektricitätsmenge von dem einen zu dem andern Körper zu überführen.

Um das Potential in mechanischem, d. h. absolutem Masse angeben zu können, hat schon Harris seine elek-

Fig. 28.



trische Wage construirt. Diese besteht aus einer an isolirendem Glasfusse befestigten empfindlichen Wage, an der die eine Wagschale durch eine kreisförmige, am Rande wulstige Platte ersetzt worden. Diese hängt an einem feinen Silberdrahte parallel zu einer gleichgrossen Platte darunter, welche an isolirendem Glasfusse in horizontaler Stellung befestigt ist, und mit einem

Leitungsdrahte mit der Elektricitätsquelle in Verbindung gebracht wird.

Man stellt die Wage so ein, dass die Wagschale w mit einer verstellbaren Metallplatte p sich gerade berührt. Diese verschiebbare Metallplatte wird mit der Erde in leitende Verbindung gebracht.

Legt man vor dem Versuche ein Uebergewicht q in die Wagschale, und ladet hierauf die Platte p_1 so lange, bis die am Wagbalken hängende Platte p_2 durch die elektrische Anziehung gerade anfängt, sich zu bewegen, dann ist die elektrische Wirkung gleich dem Uebergewichte q in der Wagschale w, ist also in mechanischem Masse gegeben.

Allein die zu kleinen Dimensionen der Platten im Vergleich zu ihrer Distanz machen die Messung ungenau und die Anbringung von Correctionen nur schwer thunlich, daher wendet in neuerer Zeit Thomson sehr grosse parallele Metallplatten an, welche die elektrische Wirkung in einfacher Weise in absolutem Masse zu finden gestatten.

Bei sehr grossen Platten, welche sich in zu ihrer Dimension sehr geringer Entfernung entgegenstehen, kann man die Dichte der Elektricität, also das Potential als gleichförmig vertheilt annehmen, und ihre einander zugewendeten Seiten werden daher gleiche Ladungen von entgegengesetzter Elektricität annehmen. Setzt man also die Dichte constant voraus, und war ihre Entfernung voneinander e, so fand Thomson, dass die Differenz ihres Potentials sehr nahezu durch die Gleichung ausgedrückt werde:

$$4 \pi d = \frac{V}{e},$$

wo π die Ludolfische Zahl e, die Entfernung bedeutet.

Da nun die elektrische Einwirkung auf die Platte dem Quadrate der Dichte d proportional ist, so fand Thomson, wenn er die Fläche der Platte mit F bezeichnete, die Einwirkung R durch die Gleichung ausgedrückt:

$$R = 2\,\pi\,d^2\,F = \pi\,F \,.\, \frac{V^2}{16\,\pi^2\,e^2} = \frac{F}{8\,\pi}\left(\frac{V}{e}\right)^2$$

Bestimmt man nun die elektrische Einwirkung, hier Anziehungskraft der beiden Platten aufeinander durch den Versuch, so kann man in mechanischem oder absolutem Masse die Potentialdifferenz V ausdrücken. Es ist dann nach Obigem:

$$V = e\sqrt{\frac{8\,\pi\,R}{F}}.$$

Dabei vernachlässigt Thomson die Wirkung, welche von der äusseren Fläche der beweglichen Platte ausgeht, welche jedoch sehr klein ist, weil die elektrische Dichte auf derselben viel geringer ist, als jene an der andern Fläche, welche der geladenen Platte zugekehrt ist.

Man sieht also, dass die Angaben des Thomson-schen absoluten Elektrometers niemals ganz genau sein können, aus diesem Grund sowohl, als auch deshalb, weil die von ihm gegebene Formel nur für unendliche grosse Plattenoberflächen giltig ist.

Nimmt man die Wirkung für zwei verschiedene Versuche constant an, d. h. nimmt man die Plattenabstände so, dass die Wirkungen constant bleiben, so hat man für den ersten Versuch:

$$V = e\sqrt{\frac{8\,\pi\,R}{F}}$$

und für den zweiten Versuch ebenso:

$$V_1 = e_1 \sqrt{\frac{8 \pi R}{F}},$$

woraus sich die Aenderung der Potentialdifferenz ergiebt:

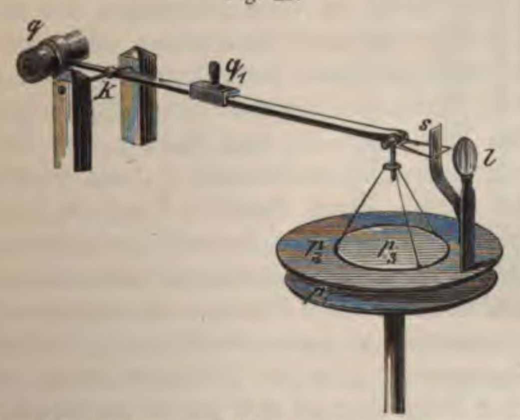
$$V - V_1 = \left(e - e_1\right) \sqrt{\frac{8 \pi R}{F}}.$$

Der Ausdruck $\sqrt{\frac{8 \pi R}{F}} = c$ ist für ein bestimmtes Thomson'sches Elektrometer eine Constante, wonach:

$$V - V^1 = c\,(e - e_1)$$

wird, und es kommt darauf an, die Distanzen der Platten

Fig. 29.



in beiden Versuchen möglichst genau zu messen. Da am Rande einer Scheibe immer das Potential grösser ist, als an den vom Rande entfernteren Stellen, so richtete Thomson sein absolutes Elektrometer so ein, dass nur die mittlere Partie beweglich ist. Zwei parallele kreisförmige Platten p_1 und p_2 stehen einander sehr nahe gegenüber, die untere p_2

ist auf einem isolirenden Glasfusse in horizontaler L
fest aufgestellt, und lässt sich höher oder tiefer stel
mittelst einer genauen Mikrometerschraube, also u
einen genau bekannten Betrag.

Die obere Platte p_1 ist kreisförmig ausgeschnitte
bildet also einen Kreisring, in welchem eine beinahe m
dem Ausschnitte gleich grosse kreisförmige Platte p_3 s
ohne Reibung bewegen kann. Diese dritte Platte wi
bei dem Versuche mit ihren Flächen genau zur Coincide
mit den Flächen der ringförmigen Platte gebracht, s
dass sie mit dieser eine gleichförmig dicke leitende Krei
scheibe bildet.

Die kleine Scheibe zeigt dann genau dieselbe elek
trische Vertheilung an ihrer Oberfläche, wie die sel
grosse, von der sie einen Theil bildet, und diese erhä
also die Gleichmässigkeit der elektrischen Dichte auf d
kleineren; Thomson nennt sie daher die Leitplatte.

Man bringt nun die feste Platte p_2 mit der eine
Elektricitätsquelle, deren Potential V_1, und die Platte p
mit der andern, deren Potential V sei, in Berührun
und bestimmt nach obigen Formeln die Einwirkung.

Um die Kraft der elektrischen Einwirkung zu be
stimmen, hängt die kleine Platte p_3 mit drei feinen Platin
oder Silberdrähten an einem Metallhebel h, welcher durc
das Gegengewicht q in der Gleichgewichtslage erhalte
wird. Der Hebel liegt auf dem gespannten Metalldrahte
auf, um den also sich der Hebel dreht. Der Draht ve
bindet zugleich leitend die zwei Metallsäulchen, durc
welche er durchgezogen ist.

Der Hebel endet an der Plattenseite mit einer gabe
förmigen Verlängerung, zwischen deren Enden ein fein
Haar horizontal eingespannt ist und sich vor der durch

gesteckten feststehenden streifenförmigen Platte s bewegt. Dunkle Striche oder zwei Punkte als Miren sind auf derselben angebracht. Beide Platten, die ringförmige p_2 und die kleine kreisförmige p_3, liegen in einer Ebene, wenn das gespannte Haar, welches mit einer Loupe l beobachtet wird, genau in der Mitte zwischen beiden Miren liegt. Man bringt beide Platten p_1 und p_2 in leitende Verbindung und legt auf die bewegliche Platte p_3 ein Uebergewicht, das man durch einen Reiter q_1, der am Hebel sich beliebig verschieben lässt, wieder ausgleicht. Es herrscht dann am Apparate das mechanische und elektrische Gleichgewicht. Man bringt nun die feststehende Platte in Berührung mit einer Leydener Flasche oder dem einen Pole einer galvanischen Säule oder einer trockenen Säule, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet werden muss, oder mit sonst einer constanten Elektricitätsquelle, deren Potential V sei. Hierauf entfernt man das Uebergewicht q_1 von der beweglichen Scheibe p_3 und ladet die ringförmige p_2 mit einer andern Elektricitätsquelle vom Potential V_1, schraubt hierauf die feststehende Platte p_1 soweit, bis die Mire wieder einspielt. Ist der Abstand der Platten p_1 und p_2 dann gleich e, so ist nach Obigem die Potentialdifferenz:

Fig. 30.



$$V - V_1 = e \sqrt{\frac{8 \pi q_1}{F}},$$

wo $q_1 = R$ und die Oberfläche der kleinen beweglichen Platte p_3 gleich F gesetzt sind.

Für einen zweiten Versuch mit einer Elektricitätsquelle, deren Potential V_2 ist, findet man genau ebenso die Potentialdifferenz:

$$V - V_2 = e_1 \sqrt{\frac{8\pi q_1}{F}}.$$

Nun sind die Verschiebungen der Platte p_1 durch die Messung mit der Mikrometerschraube genau bekannt, also ist es auch das Verhältniss:

$$\frac{V - V_1}{V - V_2} = \frac{e}{e_1}.$$

Es sind also die Potentialdifferenzen den Abständen der Platte p_1 von der Platte p_2 proportional, und die Potentialdifferenz in absolutem Masse ist für die beiden untersuchten Elektricitätsquellen:

$$V_1 - V_2 = (e_1 - e) \sqrt{\frac{8\pi q_1}{F}}.$$

Der Apparat muss durch eine Glashülle und Umgebung mit wohlgetrockneter Luft möglichst gegen Verluste durch Zerstreuung geschützt sein.

Für Messungen sehr hoher Potentiale eignet sich das absolute Elektrometer in dieser Form nicht, und Thomson construirte daher ein besonderes für solche Fälle. Die feststehende Platte p_1 befindet sich auf drei Glassäulchen, die Leitplatte p_2 trägt in ihrer Mitte das Aluminiumplättchen p_3 und ist mit der Mikrometerschraube, deren Gänge weniger fein sind, verstellbar. Sie communicirt durch den metallischen Träger mit dem Boden, und drei Stellschrauben erlauben die Einstellung der Plattenflächen in die Horizontalebene.

Man leitet die Elektricität zur oberen feststehenden Platte p_1 und verschiebt dann so lange die Leitplatte p_2, bis die Aluminiumplatte in ihre normale Lage gebracht ist, wie bei dem vorstehenden Elektrometer.

Ist V das Potential der zu messenden Elektricitätsquelle, R die Anziehungskraft, welche die Aluminiumplatte hebt, e die Entfernung, wenn das Gleichgewicht wieder hergestellt ist, F die Fläche der Platte, so ist das Potential, wie oben:

$$V = e \sqrt{\frac{8 \pi R}{F}}.$$

Bei dem Versuche ist es nicht nöthig, das Instrument durch eine Glashülle gegen den Einfluss der Luft zu schützen, da bei hohem Potential und kleinem Gewichte der Aluminiumplatte p_3 die Verluste durch Zerstreuung die Genauigkeit der Messungen kaum merklich beeinflussen; doch ist eine solche Hülle nothwendig, um die Verstaubung hintanzuhalten.

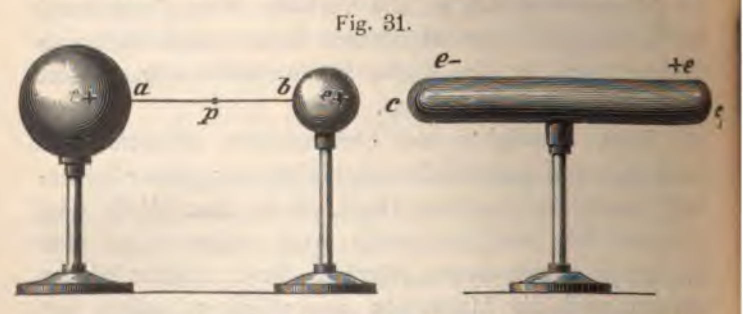
Zum Abwischen des Elektrometers empfiehlt sich weiches, wohl ausgestaubtes Rehleder oder glatter Seidenstoff, auch die trockene Hand, nicht aber Woll- oder Leinentücher, weil der Staub wohl entfernt wird, aber die feinen abgestossenen Härchen dieser Tücher hängen bleiben und die Messungen wesentlich zu stören vermögen.

Dritter Abschnitt.

16. Die gebundene Elektricität, Condensatoren.

Ein elektrischer Körper, z. B. eine Kugel auf isolirendem Glasfusse durch einen Leiter, einen Metalldraht, mit einem zweiten Körper, einer Kugel auf isolirtem Fusse, in Verbindung gebracht, theilt diesem eine gewisse Quantität Elektricität mit, bis die Ladung auf letzterem so

Fig. 31.



gross geworden, dass in einem beliebigen Punkte p des Leiters $a\,b$ die von a wirkende Abstossung ebenso gross ist als die von b auf ein elektrisches Theilchen in p ausgeübte; es kann dann offenbar von dem elektrischen Körper a nichts mehr auf b übergehen.

Unterbricht man dann die Verbindung durch den Metalldraht $a\,b$ und nähert einen isolirten Metallcylinder $c\,c_1$, so wird Vertheilung entstehen, und der Cylinder wird am

ıgewendeten Ende c negativ, am abgewendeten c_1 positiv ektrisch. Aber gleichzeitig findet eine Rückwirkung auf e an der Oberfläche der Kugel b angesammelte positive lektricität statt, welche nach der dem Cylinder zuge-endeten Seite hin gezogen wird.

Stellt man jetzt die Verbindung zwischen den Kugeln und b her, so ist die Repulsion auf irgend ein Theilchen n Punkte p nicht mehr von a und b aus gleich gross, ›ndern hat von b aus abgenommen. Es kann also neuer-ngs positive Elektricität von der Kugel a auf die Kugel b berströmen, bis wieder das Gleichgewicht im Punkte p ergestellt ist.

Unterbricht man die Verbindung zwischen den Kugeln und b, und verbindet man das Ende c_1 mit dem Boden, › strömt die dort angesammelte positive Elektricität ahin ab und die negative elektrische Ladung wird ver-ärkt; es bildet sich aber auch auf der Kugel b eine neue leichgewichtslage zwischen dieser und dem Cylinder, in-em die positive Elektricität der Kugel durch die erhöhte inwirkung der negativen im Cylinderende c nach der m zugewendeten Kugelseite gezogen wird; stellt man vischen den Kugeln a und b die Verbindung wieder her, › erfolgt neuerliches Ueberströmen der positiven Elektri-tät von a nach b, bis das Gleichgewicht wieder her-estellt ist u. s. w.

Durch Wiederholung dieses Vorganges kann man er Kugel b successive immer mehr Elektricität zuführen; sst man das Cylinderende c_1 in Verbindung mit der rde, so erreicht die Kugel b ihr Maximum von Ladung ırch die Kugel a, und die Einwirkung aller elektrischen räfte auf einen beliebigen Punkt p des Verbindungs-ahtes ab ist dann Null.

Die einander zugewendeten Seiten der Kugel und des Cylinders können also durch Wiederholung des obigen Verfahrens starke Ladungen annehmen, besonders wenn die Kugel *a* durch eine kräftige Elektricitätsquelle ersetzt gedacht wird, bis die an dem zugewendeten Leiter der Kugel *b* und des Cylinders *c* angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten eine solche Spannung angenommen haben, dass eine Ausgleichung derselben durch die Luftschicht hindurch, eine Entladung in Funkenform, stattfinden kann.

Eine solche Vorrichtung, in welcher zwei Leiter, wie hier die Kugel *b* und der Cylinder $c\,c_1$, der eine *b* mit der Elektricitätsquelle, der andere $c\,c_1$ mit der Erde in Verbindung gebracht und durch einen Isolator, also durch die Luftschicht voneinander getrennt sind, heisst ein Condensator der Elektricität, und die in ihr angehäuften und daselbst durch wechselseitige Anziehung festgehaltenen Elektricitätsmengen sind, wie man sagt, gebunden.

Die gebundene Elektricität sammelt sich also an den durch den Isolator getrennten leitenden Oberflächen an, welche man gewöhnlich die Belege des Condensators nennt.

Bringt man nach Voranstehendem statt Luft einen Schirm aus anderer isolirender Substanz zwischen die Belege, so steigert sich in der Regel die Einwirkung, weil diese Substanzen, wie Glas, Glimmer, Wachs, Paraffin etc., ein grösseres specifisches Inductionsvermögen haben als die Luft.

Man stellt daher die Condensatoren meist aus Glas in Plattenform oder in Cylinderform her, deren Oberflächen jedoch nicht bis zum Rande mit Zinnfolie bedeckt werden.

Man nennt sie in ersterer Form Franklin'sche Tafeln (Fig. 32), in letzterer hingegen Leydener Flaschen (Fig. 33).

Die letztere Form stellt eine cylindrische Flasche oder ein cylindrisches, oben offenes Glasgefäss dar, dessen beide Seiten bis auf einige Centimeter vom oberen Rande mit Zinnfolie beklebt und die Ränder, welche an Flasche oder Glasgefäss freigelassen wurden, mit Siegellack oder

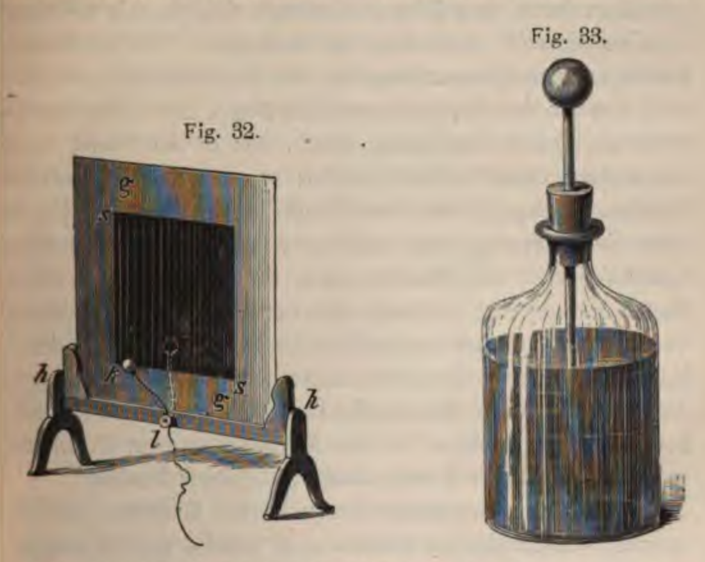


Fig. 32.

Fig. 33.

Schellacklösung in absolutem Weingeiste gefirnisst worden, damit die hygroskopischen Eigenschaften des Glases, welches sich bei feuchter Luft mit einer dünnen Schicht condensirten Wasserdampfes bekleidet, nicht stören, indem die Ränder dann aufhören Isolatoren zu sein.

Die Leydener Flasche trägt ihren Namen von dem Orte ihrer Erfindung, der Stadt Leyden (1745), in welcher Cunaeus zufällig sie erfunden, als er in der Hand

ein Glas Wasser hielt, in welches ein Eisendraht ge
worden, den er mit der Elektrisirmaschine in Verbin
brachte. Die feuchte Hand bildete so das eine B
das Wasser im Glase das andere, und als er zufälli
der andern Hand den Draht berührte, erhielt er
kräftige Erschütterung durch die Entladung der b
an den Belegen angesammelten entgegengesetzten E
tricitäten durch dem Körper hindurch. Gleichzeitig m
Kleist dieselbe Erfindung in Dievenow in Pomm
indem er einen eisernen Nagel in eine Medicinflasche st
und diese in der Hand haltend den Nagel mit einer E
trisirmaschine in Berührung setzte. Als er den Nagel
der andern Hand berührte, erhielt er einen heftigen e
trischen Schlag. Er fand bei Wiederholung des Versu
dass die Wirkung noch stärker wurde, wenn er e
Quecksilber in die Flasche goss, in welche der eis
Nagel so gestellt worden, dass er in das den Bo
bedeckende Quecksilber tauchte; es ist kein Zweifel,
Kleist früher als Cunaeus diese Beobachtung gema
doch ist der Name Kleist'sche Flasche weniger gebräu
lich, als die von Abbé Nollet für diese Art von Con
satoren eingeführte Bezeichnung „Leydener Flasche".

Abbé Nollet machte Versuche im Grossen, in
er mit Wasser gefüllte Flaschen, in welche er, wie zu
Grallath gethan, einen Messingdraht gesteckt, der obe
eine Bleikugel endete, mit der Elektrisirmaschine
und durch 180 Personen entlud, welche sich die Hä
zu einer Kette reichten, während die Person an d
einen Ende die äussere Fläche der Flasche in der H
hielt und die am andern Ende den Bleiknopf berührt

Doch konnte Nollet noch keine genügende Erklär
der Wirkungsweise derselben geben, ebenso wenig,

Winkler, welcher die Wirkung der elektrischen Kraft des Wassers zuschrieb.

Gralath verband mehrere grosse Glaskolben, die er mit Wasser füllte, und in dieses einen Messingdraht mit Bleiknopf am oberen Ende senkte, so, dass die äusseren Oberflächen im Wasser standen, während die inneren durch Verbindung der Zuleitungsdrähte untereinander in Verbindung gesetzt wurden. Er erhielt so von denselben noch viel kräftigere Ladungen als seine Vorgänger und wurde der Erfinder der reihenweisen Verbindung von Condensatoren, der sogenannten elektrischen Batterien.

Er wendete jedoch keine Belege aus Metall an, diese erfand erst Le Monnier (1746), welcher zeigte, dass die Ladung der Leydener Flasche nicht erfolge, wenn er sie statt in Wasser auf einen wohl getrockneten gläsernen Teller stellte, oder sie an seidenen Schnüren in trockener Luft aufhängte. Er zeigte ferner auch, dass eine geladene Leydener Flasche sehr lange ihre Ladung behalte, und dass man keinen Schlag erhalte, wenn man blos den Knopf der Flasche berühre, ohne auch die äussere Oberfläche derselben zu berühren.

Auch Bevis fand, dass eine bis zum Halse mit Wasser gefüllte Flasche, deren Aussenseite mit Zinnfolie gleich hoch beklebt war, eine viel stärkere Ladung annahm, als ohne diese äussere Belegung.

Bevis belegte hierauf eine Glasscheibe auf beiden Seiten mit Zinnfolie, bis etwa auf einen Zoll vom Rande, und fand eine noch kräftigere Wirkung, und Watson that dasselbe mit irdenen Krügen, indem er diese innen und aussen mit Silberfolie bis auf einen Zoll vom Rande belegte und so äusserst kräftige Condensatoren erhielt.

Auch stellte er mehrere grosse, so belegte
Flaschen wie Grallath zusammen, die eine bel
sammtoberfläche von 1129 Quadratzollen repräs
er fand dabei, dass die Leydener Flaschen auch
belegten Aussenseite Funken gaben.

Die Fig. 33 zeigt die Einrichtung des Cond
von Aepinus, zugleich zerlegbare Franklin'sch
Die Wirkungsweise der Leydener Flasche wurde er
Franklin (1747) vollkommen aufgeklärt, indem

Fig. 34.

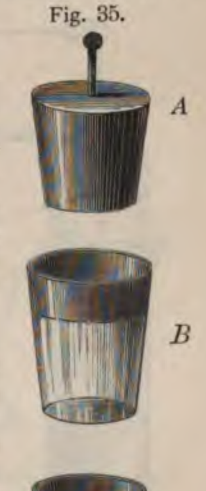


Nachweis erbrachte, dass beide Belege der nach i
nannten Franklin'schen Tafeln oder der Leydener F
entgegengesetzte elektrische Zustände zeigen.

Er verband die Aussenbelegung einer solche
mit der Innenbelegung einer zweiten und erhielt
Verbindung der beiden anderen Belege eine viel kr
Funkenentladung, die er durch eine grössere Zahl
bundener Franklin'scher Tafeln beliebig steigern l
er nannte diese Verbindung seiner Tafeln oder d
loge von Leydener Flaschen Cascadenbatterie, Verb
in Cascaden.

Noch erübrigte die Erklärung des Einflusses der Dicke des zwischen beiden Belegen der Condensatoren eingeschalteten Isolators. Franklin construirte zu diesem Zwecke eine zerlegbare Franklin'sche Tafel oder Leydener Flasche (Fig. 35). Ein konisches Glasgefäss *A* trägt die innere aus Messingblech gefertigte, etwas niedrigere konische Belegung *B* mit einem Messingdrahte, der in einer Kugel endet; die äussere *C* ist aus einem konischen, genau an das Glas anschliessenden, etwas niedrigeren Messingbecher gebildet.

Fig. 35.



Ladet man das innere Beleg mit positiver Elektricität, während das äussere mit der Erde in Verbindung steht, hebt dann das innere Beleg heraus, und hebt endlich auch das Glas aus dem äusseren Beleg heraus, so findet man das Glas allein elektrisch, und zwar lässt sich nachweisen, dass die innere und äussere Glasoberfläche entgegengesetzt elektrisch sind, indem man mit dem Finger Striche zeichnet, und durch Aufbeuteln von Schwefel und Mennigpulver die charakteristischen Lichtenberg'schen Figuren hervorr uft.

Legt man die Flasche wieder zusammen, so zeigt sie sich abermals geladen, da die beiden Belege dem Glase nur Spuren von Elektricität entziehen; denn berührt man beide mit den Händen ableitend, während sie von dem Glase getrennt sind, so bekommt man nur eine Spur von Wirkung.

Das oben angeführte Theorem von Faraday erklärt die Wirkungsweise vollkommen, denn berührt man das

äussere Beleg mit der Hand, oder sonst ableitend, während das innere geladen wird, so hat man den Fall, dass ein innerer isolirter, z. B. positiv elektrischer Leiter auf einen äusseren ihn umgebenden durch Vertheilung einwirkt, und dieser letztere wird daher eine gleich grosse jedoch entgegengesetzte elektrische Ladung annehmen. Allein dies gilt nur dann, wenn die isolirende Schicht sehr dünn ist; hat sie eine grössere Dicke, so entfernen sich beide Belege voneinander und der Elektricitätsmenge am inneren Beleg e wird eine von der Entfernung nach dem Fernwirkungsgesetze abhängige kleinere Menge entgegengesetzter Elektricität am äusseren entsprechen, so dass man setzen kann:

Fig. 36.



$$e_1 = n\,e,$$

wo n eine Zahl kleiner als die Einheit darstellt, welche von der Dicke der isolirenden Schicht, nicht aber von der Ladung abhängt, also für einen bestimmten Condensator eine Constante darstellt.

Isolirt man nun das äussere Beleg z. B. durch eine Glasplatte und berührt das innere mit der Hand ableitend, so wirkt das äussere Beleg inducirend, und es entsteht eine inducirte Elektricitätsmenge:

$$e_2 = n\,e_1 = n^2 e.$$

ıd der Verlust z. B. an positiver Elektricität, der durch esen Versuch am Condensator entstand, ist also:

$$e - e_2 = e - n^2 e = (1 - n^2)\, e.$$

Isolirt man wieder das innere Beleg, und berührt ːs äussere, so ist die Ladung des inneren:

$$e_3 = n\, e_2 = n^3 e$$

ıd der Verlust ist sonach:

$$- e_3 = n e - n^3 e = n e\,(1 - n^2) \text{ u. s. w.}$$

Man entladet durch Berührung beider Belege mit nem guten Leiter, z.B. einem Metall- ahte oder einem sogenannten Aus- der. Dieser ist zangenförmig aus vei gebogenen Drähten hergestellt it Kugeln an den Enden, die sich passende Entfernung voneinander ringen, durch Flügelschrauben in ieser Lage fixiren lassen und an zwei olirenden Handhaben gehalten wer- en. Es entsteht ein kräftiger Funke, und der Condensator cheint entladen. Nach kurzer Zeit jedoch zeigt der Condensator sich bei Wiederholung der Berührung beider Belege mit dem Auslader wieder geladen, indem aber- nals ein Funken, wiewohl ein viel schwächerer, wahr- ıehmbar wird. Man nennt diese Erscheinung den Ladungsrückstand. Er entsteht durch das Eindringen der Elektricität in die die inneren Schichten der beiden Belege rennende Isolatorschicht, und ist also um so grösser, e kräftiger das eine Beleg elektrisirt worden, indem dann ımsomehr Elektricität von dem Leiter in das Innere les Isolators überführt wird.

Fig. 37.



17. Verbindungen von Condensatoren.

Verbindet man mehrere Leydener Flaschen gleicher Dimensionen, also gleicher Glasdicke und gleich grosser innerer und äusserer Belege, wie Fig. 38, so dass alle Knöpfe von den inneren Belegen durch Drähte verbunden

Fig. 38.

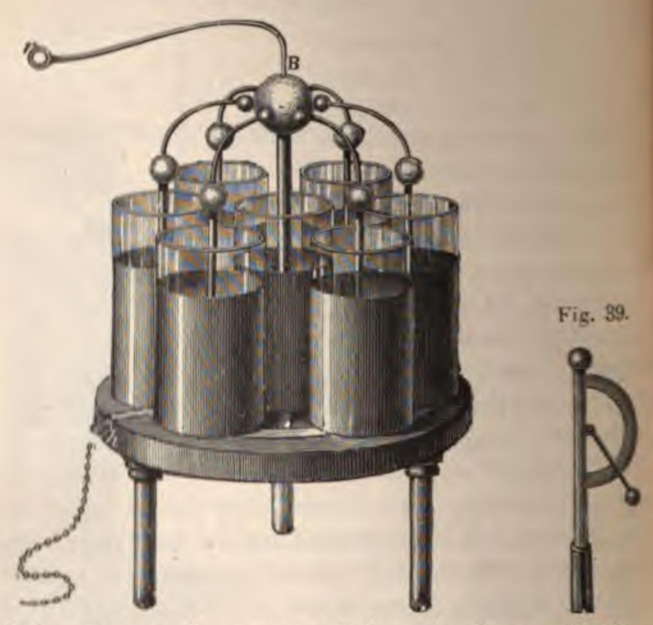


Fig. 39.

sind, während die äusseren Belege in einem mit Zinnfolie ausgekleideten Kästchen stehen, von der messingenen Handhabe ein Metalldraht zur Zinnfolie im Inneren des Kastens, und eine Kette oder Metalldraht von der Handhabe zum Erdboden geht, leitet hierauf zu dem Ringe *r* an der mittleren Flasche z. B. die positive Elektricität, so ladet sich das innere Belege positiv, während

die in Folge der Vertheilung abgestossene positive Elektricität vom äusseren Belege durch die Handhabe und Leitung zur Erde strömt.

Das auf der einen der Flaschen aufgesteckte Elektroskop von Henley besteht aus einem Leitungsdrahte mit einer kleinen Kugel am Ende. Diese trägt einen getheilten Viertel- oder Halbkreis (daher der Name Quadrant-Elektrometer von Henley); von dem Mittelpunkte des Kreises hängt an einem feinen Elfenbeinstäbchen ein Hollundermarkkügelchen, das am Ende desselben so befestigt ist, dass es ausserhalb der Kreistheilung zu liegen kommt. Das Kügelchen wird sich in unserem Falle mit positiver Elektricität laden, und umsomehr vom Drahte abgestossen, je stärker die Ladung des inneren Beleges wird.

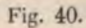
Zweck dieser Einrichtung ist, die Flaschen nicht zu überladen, weil sonst die Entladung über den Rand erfolgt oder auch durch die Glasschicht hindurch, wodurch die Leydener Flaschen zerstört würden. Man nennt diese Verbindungsweise Verbindung zur Batterie.

Marie-Davy hat gefunden, dass die Angaben des Henley'schen Quadrant-Elektrometers sich durch eine empirische Formel darstellen lassen, welche die elektrische Dichte D durch den Ablenkungswinkel α des elektrischen Pendels ausdrückt, wie folgt:

$$D = a\alpha + b\alpha^3,$$

wobei in einer Versuchsreihe die Constanten a und b zu: $a = 0{\cdot}312$ $b = 0{\cdot}00094$ bestimmt wurden, indem er die Dichte der angesammelten Elektricität an der Batterie proportional setzte der Distanz der Kugeln eines Ausladers, welche durch eine Theilung oder Mikrometerschraube gemessen werden konnte.

Dieser Abstand heisst die Schlagweite des elektrischen Funkens, und diese fand sich stets proportional der elektrischen Dichte, so lange der Zustand der Luft, als isolirender Schicht, keine Aenderung erfährt.


Fig. 40.



Auch lässt sich die Angabe eines solchen Quadrant-Elektrometers durch eine Curve darstellen, deren Abscissen die Ablenkungswinkel, die Ordinaten die Schlagweiten sind, und das Quadrant-Elektrometer in dieser Weise aichen.

Die Menge der Elektricität, die sich auf den Condensatoren anhäufen kann, ist der Grösse ihrer Oberflächen bei gleichbleibender Dicke der isolirenden Schicht proportional; setzt man daher voraus, dass die Leydener Flaschen identisch sind, und sind ihrer m verbunden, so ist die Dichte der angesammelten Elektricität:

$$\frac{m e}{m f} = \frac{e}{f} = d,$$

also nicht grösser, als bei einer einzelnen Flasche, wiewohl die m-malige Quantität, als bei einer einzelnen Flasche in ihnen angesammelt worden ist.

Die von Franklin angegebene Verbindungsweise seiner Tafeln oder der Leydener Flaschen mit entgegen-

setzten Belegen, also der äusseren abwechselnd mit n inneren, heisst die Verbindung in Cascade (Fig. 40).

Empfängt das innere Beleg der ersten Flasche die dung $+e$ von einer Elektricitätsquelle, dann hat ihr sseres Beleg die Ladung: $-ne$, wo n ein von der Dicke r Glasschicht abhängiger, für alle Flaschen bei gleicher cke derselben constanter Factor ist. Dieser Coëfficient stets kleiner als die Einheit, und von dieser umsoeniger verschieden, je kleiner die Dicke der Isolatorhicht; das innere Belege der zweiten Leydener Flasche hält dieselbe Ladung von $+ne$, ihr äussere also von e; die $x$te Flasche wird also am inneren Belege Ladung: $+n^{x-1}e$, an dem äusseren Belege hingegen Ladung $n^x e$ erhalten.

Die gesammte Ladungsdichte der x Flaschen wird her dargestellt durch die Summe der Ladungen der nzelnen Flaschen:

$$E = e + ne + n^2 e + \ldots + n^{x-1} e =$$
$$= e(1 + n + n^2 + \ldots + n^{x-1}).$$

Da nun n von der Einheit wenig verschieden ist, so ird der Ausdruck in der Klammer nahezu gleich x, der hl der Flaschen, sein und es wird:

$$E = xe.$$

18. Die Capacität der Condensatoren.

Man nennt die in absolutem Masse ausgedrückte enge von Elektricität, deren Potential der Einheit gleichmmt, und welche sich auf einem Condensator anmmeln kann, die Capacität desselben.

Man findet, dass die Capacität um so grösser ist, kleiner die Dicke der isolirenden Schicht des Condentors ist.

Denken wir uns eine isolirt aufgehängte Metallkugel in einem trockenen Raume, so ist sie sozusagen das innere Belege eines Condensators, die umgebende trockene Luft der Isolator, und die Wände des umgebenden Raumes stellen das äussere Belege vor, welches mit der Erde in Verbindung steht.

Man findet dann bei grosser Dicke der umgebenden Luftschicht, dass die Aenderung derselben keinen wesentlichen Einfluss auf die an der Kugel anhäufbare Elektricitätsmenge hat, und hat man den Versuch mit verschiedenen Metallkugeln angestellt, so findet man durch Prüfung mit Probescheibchen und Elektrometer, dass die Capacität verschiedener Kugeln unter diesen Umständen einfach ihrem Halbmesser proportional sei.

Man wähle daher die Einheit der Capacität so, dass die Capacität einer isolirten Kugel durch ihren Halbmesser selbst gemessen wird.

In mechanischem oder absolutem (Centimeter-Gramm-Secunden-) Masse ist die C.-G.-S.-Einheit der Capacität die einer isolirten Metallkugel von einem Centimeter Halbmesser.

Man drückt die Capacität C eines Condensators im Allgemeinen durch die Ladungsmenge E, getheilt durch das Potential V, aus:

$$C = \frac{E}{V};$$

umgekehrt ist also das Potential des Condensators, das Verhältniss der Ladungsmenge und seiner Capacität:

$$V = \frac{E}{C}.$$

Eine merkwürdige mechanische Erklärung der Vorgänge bei der Ladung und successiven Entladung eines

Condensators giebt Hopkinson an, indem er die erstere mit der elastischen Spannung, hervorgebracht durch Torsion eines unvollkommen elastischen Mediums, die successive Entladung mit der elastischen Nachwirkung nach dem Detordiren in eine Parallele stellt.

Nähert man dem Knopfe einer Leydener Flasche oder sonst eines geladenen Condensators das eine Ende eines Ausladers, während das andere an dem zweiten Belege anliegt, so finden zwei Spannungen statt, jene in der Isolator- (Glas-) Schicht, und die in der Luftschicht zwischen dem Knopfe der Leydener Flasche und dem Auslader.

Die erstere Spannung ist constant, die zweite nimmt mit der Annäherung des Knopfes des Ausladers an den Knopf der Leydener Flasche stetig zu, bis endlich beide gross genug sind, den Widerstand der immer dünner werdenden Luftschicht zwischen den beiden Knöpfen zu überwinden, worauf die Ausgleichung der beiden entgegengesetzten Spannungen unter Erregung von Licht und Schallschwingungen erfolgt.

Unmittelbar darnach scheint der Condensator vollkommen entladen zu sein, allein bald macht sich die Nachwirkung geltend; ist das Glas kein vollkommen elastischer Körper, so muss die elastische Nachwirkung eintreten, weil bei der Entladung die elastisch gespannten Theilchen des Glases nicht ganz in ihre im ungespannten Zustande innegehabte Position zurückkehren. Es bleibt noch in einem, wenn auch schwach gespannten Zustande, von dem es, wie bei der elastischen Nachwirkung, nur allmählich in den normalen Zustand zurückzukehren vermag, d. h. der Condensator ist nach einiger Zeit wieder geladen, jedoch viel schwächer, und diese Entladungen

können hintereinander unter steter Abschwächung wiederholt werden.

Dr. Hopkinson zeigte ferner, dass eine kleine Erschütterung des Condensators nach seiner ersten Entladung, ebenso wie bei der elastischen Nachwirkung geschieht, ein rascheres Hervortreten des Ladungsrückstandes verursache.

Er nahm dazu eine kleine Flasche, welche innen bis zur Hälfte mit concentrirter Schwefelsäure gefüllt war, und in einer Schale, welche ebenfalls mit concentrirter Schwefelsäure gefüllt auf eine isolirende Platte von Hartgummi gestellt worden, zur Hälfte eintauchte.

Er hatte so eine Leydener Flasche, umgeben mit ganz trockener Luft, mit Belegen von Schwefelsäure. In die Flasche stellte er einen Platindraht, der mit der Elektricitätsquelle verbunden war, während die Schwefelsäure in der Schale mit einem Platindrahte mit der Erde in Verbindung gesetzt war. Nach einiger Zeit wurde die Verbindung mit der Erde wieder aufgehoben, und mit einem U-förmig gebogenen Platindrahte, der in die innere und äussere Schwefelsäure getaucht wurde, die Flasche entladen. Er zog hierauf den U-förmigen Platindraht heraus, verband die innere und äussere Schwefelsäure mit einem Elektrometer, dessen Nadel einen Spiegel trug, und reflectirte das Sonnenlicht oder elektrische Lichtbündel auf einen getheilten Massstab. Sogleich bewegte sich der Lichtindex am Massstabe, jedoch nur langsam, vorwärts, ein sanftes Klopfen an der Glaswand der Flasche brachte aber ein beinahe dreimal rascheres Vorrücken desselben hervor, geradeso wie eine Erschütterung eines detordirten, unvollkommen elastischen Körpers die nur langsame elastische Nachwirkung, d. h. die langsame

Rückkehr in die Gleichgewichtslage, welche er vor der Torsion inne hatte, sehr zu beschleunigen vermag.

Hopkinson bestätigte ferner durch eine Reihe von Versuchen die zuerst von Boltzmann aufgestellte Hypothese, dass die Uebereinanderlagerung elektrischer entgegengesetzter Ladungen in einem Condensator auf die Spannungen der Glastheilchen durch Torsion zurückführbar sei.

Hopkinson stellte den Versuch in der Weise an, dass er die kleine Leydener Flasche am inneren Belege abwechselnd mit positiver und negativer Elektricität lud, die Ladungsrückstände sind dann so vertheilt, dass zuerst der entgegengesetzte, also bei erster positiver Ladung ein negativer Rückstand und so abwechselnd nach drei- bis viermaligem Laden und Entladen sich einstellt. Es sind also hier abwechselnd entgegengesetzte elastische Spannungen der Glasschichten übereinander gelagert.

IV. Abschnitt.

Die Elektrisirmaschinen.

19. Die Reibungselektrisirmaschinen.

Um grössere Elektricitätsmengen zu erzeugen, sind selbst die kräftigsten Elektrophore nicht ausreichend, und man bedient sich daher dazu besonderer Vorrichtungen, Elektrisirmaschinen genannt, welche einen stetigen Zufluss von Elektricität zu erzeugen vermögen, nicht wie der gewöhnliche Elektrophor einen disruptiven.

Schon Otto von Guericke, wie in der Einleitung erwähnt, construirte aus einer rotirenden Schwefelkugel, die er an seinen erwärmten trockenen Handflächen sich reiben liess, die erste Elektrisirmaschine (1672), welche von Hawksbee durch eine Glaskugel ersetzt wurde und noch bessere Wirkungen ergab.

Gordon ersetzte die Glaskugel durch einen Glascylinder und benutzte zugleich den zuerst von Bose angegebenen Conductor, eine auf Seidenfäden aufgehängte eiserne Röhre, zur Aufnahme der durch Reibung erzeugten Elektricität.

Winkler in Leipzig und der Drechsler Giessing ersetzten die Hände durch ein wollenes Kissen, das gegen den Glascylinder gepresst wurde, der in rasche Rotation durch Schwungrad, Schnur und Rolle versetzt wurde.

Das so erfundene Reibkissen an der Elektrisirmaschine war ein wesentlicher Fortschritt, und die 1746 von Wilson an dem Conductor angebrachten Metallkämme, deren Spitzen die Elektricität aus dem geriebenen Glascylinder ansaugten und zum Conductor überführten, brachten endlich durch die Collector genannte Einrichtung die Glas-Reibungselektrisirmaschine in die Form, welche sie noch gegenwärtig hat, nur wird der Glascylinder in der Regel durch eine kreisförmige Glasplatte ersetzt.

Die Fig. 41 zeigt die Einrichtung einer Scheiben-Elektrisirmaschine nach Ramsden in modificirter neuester Form, mit dem Winter'schen Verstärkungsringe.

S ist die in der Mitte zur Aufnahme der gläsernen Axe G_2 durchbohrte Glasscheibe, welche centrisch durch zwei aufgesteckte und aufgekittete gefirnisste Holzcylinder an der isolirenden Axe befestigt ist. Diese liegt in zwei aus gefirnisstem Holze gefertigten senkrechten Ständern, welche auf einem festen Brette mit Holzfüssen aufgeschraubt sind.

Das vordere Axenende trägt eine Kurbel, um die Scheibe in rasche Rotation um ihre Axe versetzen zu können. Die Glasscheibe reibt sich an zwei Kissen k k_1, welche in durch Glasfüsse G G_1 isolirte Holzgestelle eingeschoben werden und an ihrer Rückseite gespannte Stahlfedern tragen, womit sie von beiden Seiten gleichmässig gegen die Glasfläche drücken und diese bis zu etwa zwei Drittel des Scheibendurchmessers hinan bedecken.

Das Kissen ist aus ebenen Holzbrettchen geformt, an welche mit der glatten Seite nach oben Lederstücke genagelt sind, und zwischen diese möglichst glatten Lederstücke und die Holzplatten, welche als Unterlage dienen, sind Flanellstücke eingelegt, damit eine sanfte und doch

Leitet man den Reibzeug-Conductor zur Erde ab, oder verbindet man ihn mit einer ausgedehnten Röhrenleitung für Wasser oder Gas, so ist die Wirkung am grössten. Es ladet sich der Conductor an der Glasscheibe stark positiv und die negative Elektricität des Reibzeug-Conductors strömt zur Erde ab, die Entladung zwischen Reibzeug und Scheibe wird dadurch verhindert.

Wärmt man die Platte der Maschine am Sonnenscheine oder durch geeignete Heizvorrichtungen an, so werden die in Folge der Hygroskopicität des Glases daran condensirten Wasserdämpfe beseitigt, und es wird die höchste Wirksamkeit erreicht. Ebenso empfiehlt es sich, die gläserne Axe und die isolirenden Glasstäbe der Conductoren mit einem vorgewärmten seidenen Tuche, sowie auch die Scheibe selbst stark abzureiben, wodurch eine möglichst vollständige Isolation der elektrisirten Theile der Maschine erzielt wird.

Ist der Ring richtig construirt und dimensionirt, so kann von einer Maschine von 24 Zoll Diameter bei günstigem Luftzustande durch die Entladung des positiven Conductors gegen den negativen mittelst des Ausladers (Fig. 41) eine Schlagweite von 9 bis 12 Zoll erzielt werden.

In neuester Zeit wendet man statt der wegen ihrer Hygroskopicität bei feuchtem Wetter nicht wirksamen Glasscheiben Hartgummischeiben an, jedoch ist es auch bei diesen von Vortheil, durch Reiben mit erwärmten Seidentüchern jede Spur condensirten Wasserdampfes bei feuchtem Wetter vorher zu beseitigen.

Auch wurde gehärteter Schwefel, sogenannter Schwefelstahl, zur Anfertigung von Gussscheiben verwendet. Man erhielt den Hartschwefel durch einen Zusatz von 0·5 Procent bis 0·4 Procent Jod zu dem geschmolzenen

:hwefel und goss die Platten zwischen zwei parallel ge-
ellten Spiegelglasplatten, die vorgewärmt wurden, damit
e nicht springen.

Nach dem Erkalten löst sich die Glasfläche leicht
ırch Einfügen einer dünnen Messerklinge vom Schwefel
, die Schwefelplatte wird hierauf durchbohrt und auf
e isolirende Axe aufgekittet.

Als Reibzeug dient ein Seidenzeugkissen, in ähnlicher
'eise construirt, wie bei der Glaselektrisirmaschine.

Auf den positiven Conductor der Elektrisirmaschine
ird oft ein Quadrant-Elektrometer aufgesetzt, um die
eistung der Maschine beobachten zu können.

Die Reibzeuge der Maschine werden auf der Leder-
erfläche mit dem Kienmayer'schen Amalgame bestrichen,
dass die Oberfläche möglichst glatt und metallisch
ısfällt. Das aus einem Theile Zink, einem Theile Zinn und
vei Theilen Quecksilber bestehende Amalgam wird be-
itet, indem man zuerst das Zink schmilzt, hierauf das
schmolzene Zinn zugiesst und endlich das erwärmte
uecksilber in den Tiegel bringt. Gleich nach gutem
urchrühren des Ganzen schüttet man das flüssige Amal-
ım in eine Büchse von Holz, welche gut mit Kreide
ısgestrichen und mit einem gut schliessenden Deckel
ersehen ist. Rasches und heftiges Schütteln verwandelt
ıs Amalgam bald in ein feines, graues, metallisch glän-
ndes Pulver, das mit einem glatten Korke auf das
was eingefettete Leder so lange eingerieben wird, bis
ne möglichst glatte und metallisch glänzende Fläche des
eibzeuges erzielt worden ist.

Je grösser die Adhäsion dieser metallisirten Leder-
ichen an dem Glase ist, desto grössere Wirkung erzielt
an an der Elektrisirmaschine.

Es ist klar, dass man auch den positiven Conductor mit einem Draht oder einer Kette mit der Erde verbinden und von dem isolirten negativen Conductor des Reibzeuges die negative Elektricität aufsammeln kann. Man kann also jede Art von Elektricität mit derselben Elektrisirmaschine, wenn sie zwei Conductoren besitzt, erhalten.

Die innige Berührung der geriebenen Glasplatte und des Reibzeuges bewirkt bei der Reibung eine um so grössere Differenz des Potentials, je dichter beide Flächen anliegen, und sind zwei Reibflächen vorhanden, so bildet sich eine homogene Schicht der Elektricität an beiden Oberflächen, und diese dringt auch in das Innere der Glasscheibe ein, so dass sie schon in geringem Abstand von der Oberfläche innen vollkommen gleichmässig vertheilt erscheint.

Man sammelt die sich in grosser Menge entwickelnde Elektricität gleich nach dem Austritte aus den Reibzeugen an den Spitzen der Saugkämme, und von hier wird sie auf den Conductor überführt, während das Reibzeug zur Erde abgeleitet ist. Die erzeugte Elektricität ist proportional der geriebenen Oberfläche, daher man oft Elektrisirmaschinen mit zwei und mehr Glasscheiben baut, mit ebenso vielen Doppel-Reibzeugen und Collectoren, und einem gemeinschaftlichen Conductor für die Elektricität der Scheiben und ebenso für jene der Reibzeuge.

Steigt das Potential zu sehr, so entsteht eine Entladung zwischen der elektrischen Glasscheibe und ihrem Reibzeug, und man sieht kreisförmig geformte starke Funken von den sich vom Reibzeug entfernenden Oberflächentheilen der Scheibe gegen das Reibzeug fahren, sowie auch oft gegen die Axe, wenn diese nicht gut isolirt ist.

Es hat sich gezeigt, dass es bei der Ladung von Condensatoren mit der Elektrisirmaschine gleichgiltig sei, ob man blos das innere Belege derselben mit dem positiven Conductor verbindet, während das äussere mit dem Boden in Verbindung steht, oder ob man beide Belege, das eine mit dem positiven, das andere mit dem negativen Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung setzt.

Man zieht es daher vor, immer das eine Belege des Condensators und den einen Conductor der Elektrisirmaschine mit der Erde oder mit einem Gas- oder Wasserleitungsröhrenstrange in Verbindung zu setzen.

Handelt es sich darum, sehr grosse Batterien Leydener Flaschen zu laden, so wendet man Maschinen mit doppelten Scheiben und bedeutendem Scheibendurchmesser, sowie doppelte Reibzeuge für jede Scheibe an. Die berühmten Versuche van Marum's wurden mit einer solchen Maschine, von Cuthbertson construirt, ausgeführt.

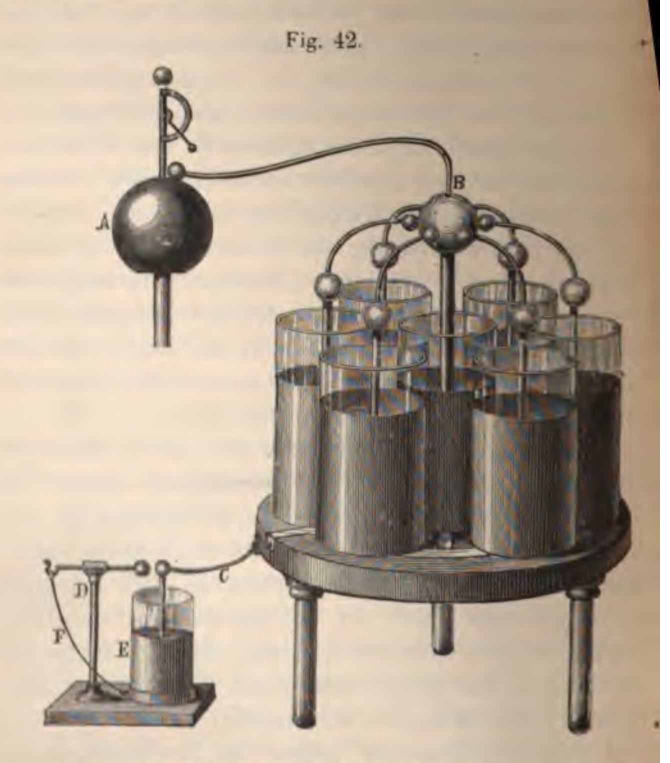
Die beiden Scheiben hatten einen Durchmesser von 1·65 Meter und waren 19 Cm. voneinander an der Axe befestigt, sie rieben sich an zwei Doppelreibzeugen, je zwei am verticalen Durchmesser der Scheiben einander gegenüberstehend, je zwei Kämme befanden sich bei jeder Scheibe zwischen ihnen in horizontaler Richtung und führten die Elektricität durch Arme dem Conductor zu, dieser war auf das sorgfältigste durch einen hohen Glasfuss isolirt und beweglich eingerichtet.

Um die Entladungen gegen die Rotationsaxe hin unmöglich zu machen, wenn das Glas mit Feuchtigkeit beschlägt, war die Partie der Scheibenoberfläche zwischen den Reibzeugen und der Axe mit Schellack gefirnisst.

Der Conductor bestand aus einer messingenen Hohlkugel, deren unterer Theil, da wo der Glasfuss eingekittet

war, rund einwärts gebogen ward, um die Verluste an Begrenzung zwischen den Messingrändern und dem st hygroskopischen Glasfusse durch Abströmung möglich herabzumindern.

Fig. 42.



Es empfiehlt sich daher diese Construction des Conductors für alle Maschinen mit hohem Potential, so wie es rathsam ist, der Hygroskopicität des Glasfusses durch einen dicken Schellackfirnissüberzug möglichst entgegenzuwirken.

Auch die Reibzeuge wurden durch Glasunterlagen isolirt, so dass auch die negative Elektricität derselben angesammelt werden konnte. Van Marum erhielt mit dieser Maschine Funkenentladungen von der Dicke einer Federpose bei 61 Cm. Länge, und Entladungen in Strahlenform, nur im Dunklen gut sichtbar, daher auch dunkle Entladungen oder das Büschellicht genannt, von 38 Cm. Durchmesser.

Fig. 43.



Später baute van Marum eine noch kräftigere Maschine in etwas abgeänderter, weniger praktischer Form. Er lud damit seine Batterien Leydener Flaschen von ausserordentlicher Capacität, mit welchen er seine weltbekannten Versuche ausführte. (Fig. 42.)

War die Maschine im guten Gange, so wirkte sie schon in einer Entfernung von 40 Fuss sehr kräftig durch Vertheilung auf ein Goldblatt-Elektroskop ein. Van Marum glaubte ihre Wirksamkeit noch zu erhöhen, indem er dem Amalgam etwas Musivgold (Zinnsulfid) zusetzte, womit die Reibzeuge bestrichen wurden.

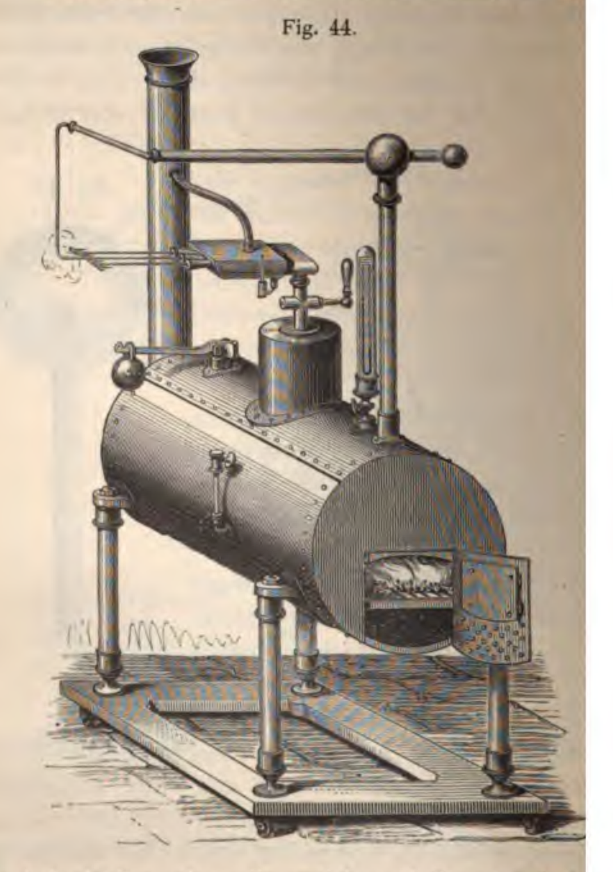
20. Die Dampfelektrisirmaschine.

Im Jahre 1840 bemerkte Armstrong die durch hochgespannten Dampf, welcher aus einer entgleisten und auf Holzklötzen ruhenden, also isolirten Locomotive entströmte, entwickelte Elektricität von hoher Spannung. Bei der Berührung des Dampfkessels und beim Halten der Handfläche gegen den heftig ausströmenden Dampf wurden die heftigsten Schläge empfunden. Dieser

Zufall leitete ihn auf die Construction der Dampfele
maschine.

Ein Dampfkessel mit innerer Feuerung ist au

Fig. 44.



sockeln isolirt aufgestellt, welche auf einem starken
rahmen aufruhen, der unten mit vier Rollen zum
schieben des Apparates versehen ist. Die Dampfspa

soll wenigstens neun Atmosphären betragen und möglichst auf dieser Höhe erhalten werden.

Die Ausströmröhre, mit isolirter Handhabe versehen, lässt den Dampf in ein System von engen Ausströmröhren, welche einen mit Kühlwasser gefüllten Kasten wasserdicht durchsetzen, austreten. Um die Oberfläche, auf der das Wasser verdampft, zu vergrössern, sind Dochte um die einzelnen Ausströmröhrchen gewunden, und der entwickelte Dampf geht durch ein seitliches Rohr in den Kamin des Feuerraumes.

Fig. 45.

o

z

Die Röhren, 30 bis 50 an der Zahl, enthalten dann theilweise condensirten Dampf, gemischt mit trockenem. Die Reibung des in Bläschenform im übrigen Dampfe schwimmenden condensirten Wasserdampfes der Röhre an der Ausströmöffnung erzeugt eine grosse Menge hochgespannter Elektricität. Das Potential ist so gross, dass Armstrong mit seiner Maschine bis 36 Zoll lange Funken erhalten konnte.

Der aus den Röhren ausströmende Dampf ist positiv elektrisch, die Wände des Dampfkessels sind negativ geladen. Um möglichst starke Wirkungen zu erhalten, wird der Dampfstrom durch die Metallzunge *z* gezwungen, zweimal senkrecht sich umzubiegen, ehe er aus der Oeffnung *o* ausströmt.

Ein Kessel von 78 englischen Zoll Länge und 42 Zoll Durchmesser und mit 46 Ausströmöffnungen, denen der Saugkamm *k*, verbunden mit einem Conductor *c* auf isolirtem hohen Glasfusse, gegenübergestellt war, gab 22 Zoll lange Funken.

Die massenhaft entwickelten Wasserdämpfe, welche auf den Isolatoren sich leicht condensiren, bringen oft

Störungen im Gange dieser Elektrisirma
auch ist es schwer, die nöthige Spannun
und noch schwieriger sie längere Zeit zu e
diese Elektrisirmaschinen nicht in Aufnahm
sind. Trockener Dampf wirkt gar nicht, b
kleidung der Ausströmröhren giebt den b
bringt man Terpentinöl in den Kessel, so w
positiv, der Dampf aber negativ elektrisch.

21. Influenz-Elektrisirmaschinen.

Viel wichtiger für experimentelle Zwecke er
die Inductions-Elektrisirmaschine, welche am gee
ist, mechanische Arbeit in Elektricität zu überfüh
Bei den Inductions-Elektrisirmaschinen oder, w
sie in neuerer Zeit auch zu nennen pflegt, be
Influenz-Elektrisirmaschinen ist das Princip der Lad
vervielfältigung (Multiplication) in Anwendung gebr
Schon Benett hat 1778 hierzu drei isolirte Leiter in
wendung gebracht, um eine erste schwache Ladung du
wiederholte Induction auf eine immer höhere Potenti
differenz zu bringen, bis dieselbe gross genug wird, das
eine Funkenentladung zwischen dem inducirenden und
inducirten Leiter durch die Luft stattfinden kann.
Dies ist dann die Grenze der erreichbaren Spannung
auf beiden Leitern.

Den Versuch führte er in nachfolgender Weise durch:
Die erste Scheibe s_1 wurde nahe an der zweiten s_2
und diese zu einer dritten s_3 parallel aufgestellt. Die
Scheiben s_1 und s_2 sind isolirt und unbeweglich, die
Scheibe s_3 aber kann den beiden anderen sehr genähert
werden und wird durch einen Draht mit dem Erdboden
in leitende Verbindung gesetzt.

Hat die erste Scheibe s_1 die positive Ladung $+e$ erhalten, so inducirte sie in der genäherten dritten Scheibe s_3 negative Elektricität $-e$, welche bei geringer Distanz beider Scheiben nahezu ebenso gross ist, als die Ladung $+e$ auf der ersten Scheibe s_1. Die positive Elektricität $+e$ strömt dann aus der dritten Scheibe durch den Draht zur Erde.

Bringt man die Scheibe s_3 nun ebenso nahe an die zweite Scheibe s_2, wie die erste und dritte einander genähert waren, während s_2 mit dem Boden in Verbindung gesetzt wird, so ladet sie sich durch Induction abermals mit der Elektricitätsmenge $+e$. Isolirt man nun die Scheibe s_2 wieder und verbindet sie hierauf mit der Scheibe s_1, nähert darauf beiden Platten auf dieselbe Distanz, wie früher, die dritte Platte s_3, so wirkt jetzt die Ladung $+2e$ inducirend und dieselbe nimmt daher die Ladung $-2e$ an. Hierauf hebt man die Verbindung der Scheiben s_1 und s_2 wieder auf und kann nun dieselbe Operation von neuem beginnen.

So erhält man die Ladungen:

$$-e_1, -2e_1, -4e_1 \ldots -2^{(\mathfrak{z}-1)} \times e;$$

da aber eine gewisse Distanz eingehalten werden muss, so hat man beim zweiten Versuche nicht ganz 2, sondern eine von 2 wenig verschiedene Zahl als Multiplicator zu nehmen.

Ist z. B. u diese zwischen 1 und 2 liegende Zahl, so wird in Wirklichkeit die Ladung nach $\mathfrak{z}$ Wiederholung sein:

$$d_{\mathfrak{z}} = u^{(\mathfrak{z}-1)} \times e,$$

d. h. die Ladung nimmt in geometrischer Progression zu, kann also auf eine bedeutende Höhe gebracht werden,

wenn viele Wiederholungen sich rasch folgen, damit die Verluste durch Zerstreuung in der Luft und durch unvollständige Isolation der drei Scheiben nicht zu sehr störend einwirken können.

Statt dieses alternativen Vorganges ist es daher von Vortheil, eine rasche Rotation einzuführen, wie es zuerst Darwin 1787 vorschlug; er wendete jedoch vier Scheiben an, zwei feststehende und zwei bewegliche. Nicholson wendete 1788 wieder blos drei Scheiben an, die, auf isolirenden Glasröhren befestigt, gegeneinander je zwei, nämlich die Scheiben s_2 und s_3, aufgestellt sind.

Die letztere wird durch die gläserne Axe mit hölzerner Kurbel k in rasche Bewegung versetzt. Bei ihrer Rotation streift dieselbe an einen metallenen Arm, der sie berührt und federnd in dem Momente mit der Erde in leitende Verbindung setzt, wenn sie vor der auf isolirendem Fusse stehenden geladenen Scheibe s_1, parallel zu dieser, vorübergeht. Die Axe trägt ausserdem drei federnde Drähte d_1 und d_2 senkrecht zur Axe, und den gekrümmten d_3 senkrecht zur Axe und zu den beiden ersteren, welcher bei der Rotation die nicht isolirte Metallstange m berührt.

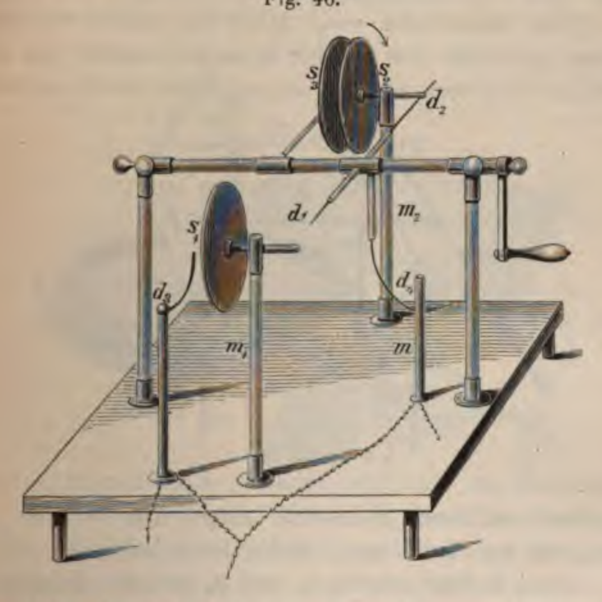
Die isolirende Säule m_2 steht näher an der Umdrehungsaxe als die Säule m_1, und der längere Draht d_2 berührt daher beide an den Scheiben s_1 und s_2 befestigte Zuleitungsdrähte bei jeder Rotation, der kürzere d_1 jedoch nur den Zuleitungsdraht der Scheibe s_2, ohne jenen der Scheibe s_1 zu erreichen.

Rotirt der Apparat von links nach rechts, und steht die Scheibe s_3 gerade vor s_2, so sind die Scheiben s_1 und s_3 isolirt und die Scheibe s_2 ist durch den Draht d_3 und das Messingsäulchen m mit der Erde in Verbindung.

Nach einer halben Umdrehung berühren dann die Drähte d_1 und d_2 die Zuleitungsdrähte der Scheiben s_1 und s_2, wodurch sie also in Verbindung miteinander kommen, und die Scheibe s_3 ist nun mit der Erde in Verbindung gesetzt.

Hat man der Scheibe s_1 die Ladung $+ e$ ertheilt,

Fig. 46.



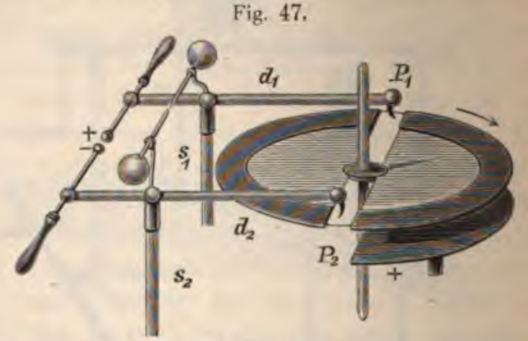
so multiplicirt sich die Ladung der Scheiben nach wiederholten Umdrehungen, bis die Spannungsdifferenz gross genug wird, dass zwischen der positiven Scheibe s_1 und der negativ geladenen s_3 Funken überspringen. Man kann also den Apparat als die erste in Thätigkeit gewesene Inductions-Elektrisirmaschine betrachten. Die Einrichtung hat aber den wesentlichen Mangel, dass die

Verluste durch Zerstreuung der Elektricität in der Luft und durch die Unmöglichkeit einer guten Isolation sehr gross werden.

Eine wesentliche Verbesserung hat zuerst Töpler an den Inductions-Elektrisirmaschinen durch Anwendung blos zweier Scheiben, einer inducirenden feststehenden und einer rotirenden, erzielt.

Eine Glasscheibe wird durch die Umdrehung eines Rades mit Rolle und Schnur in rasche Rotation um eine verticale Axe versetzt. Die untere Fläche der Glasscheibe

Fig. 47.

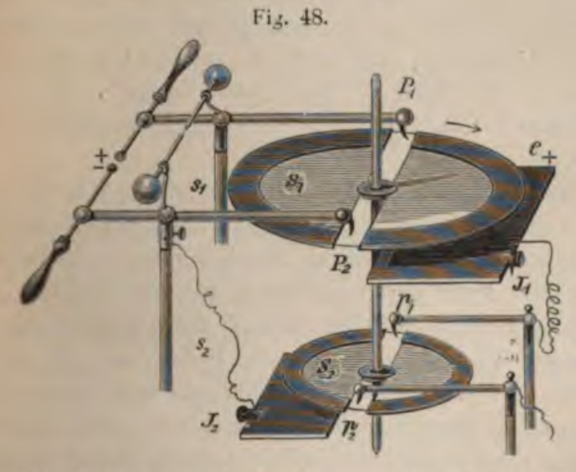


trägt zwei aus Zinnfolie gebildete Kreissegmente, übergreifend auf zwei ebensolche ringförmige Streifen aus Zinnfolie auf der oberen Fläche der Scheibe.

Zwei isolirte Ständer s_1 und s_2 mit den Zuleitungsdrähten d_1 und d_2, welche an den der Scheibe zugekehrten Enden zwei federnde Plättchen P_1 und P_2 aus Musivgold tragen und in Metallknöpfe vorn und hinten enden, dienen als Conductoren. Eine halbkreisförmige Scheibe auf isolirtem Fusse sei der Träger positiver Elektricität, es entsteht dann Vertheilungswirkung. Wenn nun die Scheibe gedreht wird, so dass die federnden

Plättchen die beiden Sectoren berühren, so ladet sich der dem halbkreisförmigen Inductor gegenüberstehende mit negativer Elektricität, der andere, entferntere, aber positiv elektrisch; bei weiterer Drehung übergehen beide auf die zwei Conductoren, und ein an den durchbohrten Endkugeln angebrachter Auslader zeigt eine Reihe von ziemlich kräftigen Funkenentladungen.

Fig. 48.



Die Verluste durch Zerstreuung der Elektricität und durch unvollkommene Isolation sind aber auch hier gross genug, um dem Spiel des Apparates bald ein Ende zu setzen.

Um dies zu verhindern, hat Töpler seine Inductions-Elektrisirmaschine doppelt hergestellt, um durch gegenseitige Einwirkung ihre Verluste auszugleichen und die Elektrisirmaschine in stetigem Gange zu erhalten.

Es sind also zwei rotirende Scheiben S_1 und S_2 auf der verticalen Axe aufgesteckt, die untere jedoch ist

kleiner, und der Inductor J_1 der oberen Scheibe S_1 steht mit dem Saugarm p_1 der zweiten Scheibe S_2 durch eine Drahtleitung in Verbindung.

Der Inductor J_2 der zweiten kleineren Scheibe steht wiederum mit dem Saugarme P_2 der grossen Scheibe in Verbindung. Der Saugarm P_1 derselben bleibt isolirt, hingegen wird der Saugarm der unteren Scheibe p_2 mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt.

Ist der Inductor J_1 der ersten Scheibe positiv elektrisch und die Scheibe in Rotation versetzt, so wird der Saugarm P_1 derselben positiv, der Saugarm P_2 negativ elektrisch bei der durch den Pfeil angegebenen Rotationsrichtung.

Diese negative Elektricität geht auf den Inductor J_2 der zweiten kleineren Scheibe S_2 über, ein Sector derselben wird sonach positiv elektrisch durch die Vertheilung, sowie er durch den Saugarm p_2 mit der Erde in Verbindung kommt, berührt hierauf den Saugarm p_1 und vermehrt die positive Ladung des Inductors J_1 der oberen Scheibe u. s. w. Die Spannungsdifferenz wird so ansteigen, bis durch die Spitzen des Ausladers l_1 und l_2 die Entladung erfolgt. Töpler erhielt zwischen ihnen rasch sich folgende Funkenentladungen bis zu einem Zoll Länge.

Töpler lud den Inductor J durch Annäherung eines geriebenen Kautschukplättchens positiv durch Induction, zeigte aber zugleich, dass die Doppelmaschine sich von selbst ladet, wenn sie einige Minuten gedreht wird, wahrscheinlich in Folge der Reibung der Contactfedern der beiden Saugarme an den Glasscheiben.

Töpler hat bis 20 Scheiben angewendet, sie auf horizontaler Axe hintereinander gestellt, und wiewohl die Effecte sehr bedeutend sind, so ist die Gefahr des Brechens

und Fortgeschleudertwerdens der einzelnen Scheiben doch ein Hinderniss für ihre Weiterverbreitung.

Von diesen Mängeln frei erscheint die Holtz'sche Inductions-Elektrisirmaschine und ihre durch Voss in neuester Zeit vereinfachte Einrichtung. Sie besteht aus einer auf isolirenden Kautschuklagern fest aufliegenden kreisförmigen, mit Schellack gefirnissten dünnen Glasscheibe. Diese ist in ihrer Mitte kreisförmig ausgeschliffen, um die horizontal liegende isolirende Axe aus Hartgummi durchstecken zu können, die in zwei ebenfalls isolirten Lagern liegt und mit Rolle, Schnur und Rad in rasche Rotation versetzt werden kann.

Diese Scheibe s_2 ist etwas kleiner, als die feststehende, und um der Hygroskopicität des Glases entgegenzuwirken, ebenfalls schellackirt.

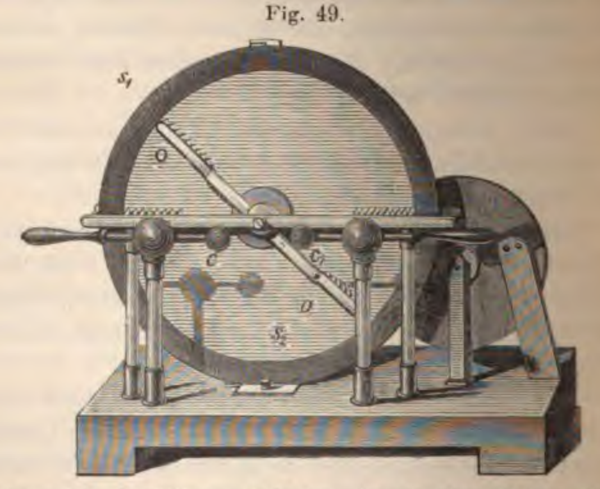
An einem horizontalen Durchmesser sich gegenüberstehend sind zwei Oeffnungen am Rande der festen Glasscheibe s_1 ausgeschnitten, in die zwei gefirnisste spitze Papierplättchen mit den Spitzen einerseits nach abwärts, andererseits nach aufwärs geklebt sind.

Der vorderen rotirenden Scheibe s_2, und zwar an der Stelle der Oeffnungen in der feststehenden Scheibe s_1 parallel gegenüberstehend, sind zwei Saugarme mit feinen Metallspitzen auf isolirendem Fusse angebracht, so dass sie mit zwei kugelförmigen durchbohrten Conductoren auf isolirenden Glasfüssen in Verbindung stehen; durch die Durchbohrungen sind zwei starke Leitungsdrähte, an die man Kugeln oder Spitzen anschrauben kann, durchgesteckt und mit isolirenden Handhaben von Hartgummi an den Enden versehen, um sie einander beliebig nähern zu können.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit der rotirenden dünnen Glasscheibe soll wenigstens achtmal in der Secunde betragen.

Will man die Maschine in Thätigkeit versetzen, so bringt man beide Conductoren in Berührung, dreht die Scheibe und nähert einer Oeffnung mit den Papier-Armaturen eine geriebene Hartgummiplatte. Nach einigen Minuten Drehung entfernt man beide Conductoren langsam mittelst der isolirenden Handhaben voneinander, worauf Funken überspringen, und in kurzer Zeit bei fortgesetzter Entfernung der Conductoren-Enden bis auf sechs Zoll lange

Fig. 49.



Funken bei 15zölligen Scheiben in rascher Folge überschlagen.

Verbindet man beide Conductoren durch Drähte mit den Belegen einer Leydener Flasche, so wird die Zahl der Funken geringer, die Detonationen bei den Entladungen der Flaschen immer lauter, wenn ihre Potentialdifferenz genug gestiegen, dass zwischen den Ausladern noch ein Funken überschlagen kann. Diese Ladungsflasche wirkt auch dem Aufhören der Thätigkeit der

Influenz-Elektrisirmaschine entgegen, daher gewöhnlich zwei Flaschen angewendet werden, deren äussere Belege durch einen Zinnfoliestreifen untereinander, die inneren beiden aber mit je einem Conductordrahte in Verbindung stehen.

Poggendorf hat gezeigt, dass die Oeffnungen in der feststehenden Platte gar nicht nothwendig sind, sondern dass ein schmales Loch genügt, in das man den Papier-Inductor so befestigt, dass sein breites Ende an der abgewendeten, seine Spitze an der Seite der feststehenden Scheibe s_1 sich befindet, welche der rotirenden Scheibe s_2 zugewendet ist. Ist die Lage entgegengesetzt, so tritt keine Wirkung ein, es sind sonach die Spitzen an den Papier-Inductoren das Massgebende bei der Wirkungsweise der Holtz'schen Inductions-Elektrisirmaschine.

Die papiernen Conductoren sind Halbleiter der Elektricität, und als solche nehmen sie die Elektricität nicht zu schwer auf und verlieren sie nicht zu leicht, daher haben sich Glimmerplättchen als Isolatoren, statt Papierblättchen genommen, nicht bewährt, ebensowenig aber dünne Metallplättchen, so geformt wie die Papier-Inductoren.

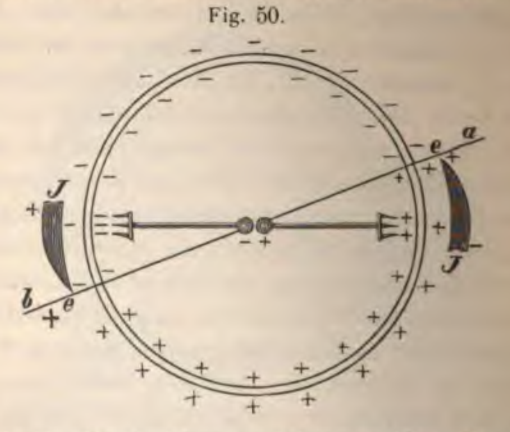
Es erscheint daher von Wichtigkeit, dass die Inductoren weder zu gut noch zu schlecht leiten.

Denken wir uns den einen Papier-Inductor J_1 mit negativer Elektricität geladen, und die Bewegung geschähe oben von links nach rechts, so laden sich die Conductoren $c\, c_1$, wenn beide Kugeln in Contact sind, durch Vertheilung, das eine Ende c wird positiv elektrisch, das andere c_1 negativ elektrisch. Ist das Potential des Saugkammes s_1 hoch genug gestiegen, so wird es positive Elektricität durch die Spitzen gegen die Glasplatte ausströmen, ebenso die Spitzen des zweiten Saugkammes s_2

negative Elektricität; bei der Drehung kommen nach und nach andere Theile der Scheibe in die Wirkungssphäre des Papier-Inductors J_1 und die ganze Scheibe kann durch den gegen den horizontalen Durchmesser wenig geneigten Durchmesser *a b* in zwei Theile zerlegt gedacht werden, so dass die obere Scheibenhälfte negativ, die untere positiv elektrisch ist.

Der zweite Papier-Inductor J_2 wird nun durch diese Elektricität durch Induction so erregt, dass sein breiter

Fig. 50.



Theil durch Rückwirkung stärker positiv, die Spitze stärker negativ elektrisch wird, durch Rückwirkung wird bei weiterer Drehung ebenso der Papier-Inductor J_1 an der Basis stärker negativ, an der Spitze stärker positiv elektrisch. Bei fortwährender Steigerung der Potentialdifferenzen an den Inductoren, und dem entsprechend an den beiden Scheibenhälften, steigert sich daher die Vertheilungswirkung, wie oben gezeigt, in geometrischer Progression, und in Kurzem wird eine sehr grosse Spannung erreichbar.

Wären keine Leitungsverluste und keine Zerstreuung, so müsste das Anwachsen ein sehr rasches sein, allein diese Verluste sind bei feuchter Luft oft so gross, dass die Maschine nicht in Gang zu bringen ist, ausser sie wird in der Nähe eines Ofens oder in directem Sonnenschein vor dem Versuche sehr stark erwärmt.

Man hat gefunden, dass die Wirkung am grössten ist, wenn man nur einen Papierconductor in jedem Fensterchen der festen Scheibe anbringt, also nur eine Spitze anwendet, und diese nicht allzu spitzig nimmt, weil die Vertheilungswirkung wahrscheinlich durch die allzu grosse Spannung an scharfen Spitzen und die leicht erfolgende Ausladung derselben herabgemindert wird. Eine Wahrnehmung, die auch bei den Blitzableitern und ihren Auffangstangen zu Tage tritt und Beachtung verdient.

Auch hier wie bei Töpler's Influenz-Elektrisirmaschine tritt der Umstand störend auf, dass die Vertheilungswirkung sehr vom Feuchtigkeitszustande und der Vollkommenheit der Isolation abhängig ist; darum soll die erregende Hartgummiplatte so stark elektrisch gemacht sein, dass man bis 1 Cm. lange Funken mit dem Finger erhalten kann.

Das Versagen der Maschine erfolgt auch, wenn sie schon im Gange war und die Conductoren zu weit entfernt wurden, ja es geschieht, dass sich die Ladungen der Conductoren umkehren, namentlich, wenn die Maschine bei hohem Potentiale längere Zeit in Thätigkeit war.

Um dies zu vermeiden, verwendet Holtz einen zweiten Saugapparat, aus einer Messingröhre bestehend, an deren Enden zwei Saugkämme befestigt sind, und Papier-Inductoren, die bis ein Viertel des Umfangs der

kreisförmigen rotirenden Scheibe s_2 einnehmen. Die Saug-kämme sind an der um einen isolirenden Vorsprung d- Axe drehbaren Messingröhre auf zwei diametral gegenübe- stehende Punkte der rotirenden Scheibe gestellt, so da- sie den breiten Endflächen der Inductoren parallel gege- überstehen, was der Fall ist, wenn sie etwa einen Wink- von 60 Grad mit dem horizontalen Durchmesser d- Scheibe bilden.

Fig. 51.



Der diagonale Conductor ist unwirksam, wenn d- Kugeln der beiden horizontalen Conductoren sich berühre- entfernt man sie aber so weit, dass keine Funken üb- springen können, voneinander, so bringt die von d- Spitzenkämmen gegen die Scheibe ausströmende negati- und positive Elektricität das Potential der Scheibe a- Null herab, und die Maschine ist gleichsam in d- ursprünglichen Stand zurückversetzt, die Papier-Inductor- bleiben unverändert geladen.

Dasselbe erfolgt, wenn die Spannungsdifferenz sich theilweise bei nicht genug entfernten Kugeln der Inductoren ausgleichen kann, indem die restliche Spannung durch die Kämme des diametralen Conductors ausgeglichen wird.

Eine ähnliche Einrichtung gab Voss seiner Influenzmaschine, welche aus zwei mit Schellack gefirnissten Glasscheiben beteht, wovon die eine fest steht, die andere um eine horizontale Axe rotirt, welche, wie bei der Holtzschen Maschine, durch die in der Mitte durchbohrte feste Scheibe durchgeht. Auf der Rückseite der feststehenden Scheibe sind zwei kreisförmige Papier-Inductoren, mit concentrischen halb so grossen Zinnfoliescheiben beklebt, angebracht. Zwei gebogene Metallarme gehen links und rechts um den Rand der beweglichen Scheibe herum, welche je eine kleine Metallbürste tragen und mit den Armaturen an der Rückseite der unbeweglichen Scheibe fest verbunden sind.

Auf der Vorderseite der beweglichen Scheibe sind 6 bis 8 Metallknöpfe in gleichen Abständen voneinander befestigt, an welchen die Metallbürsten streifen.

Ein diametral gestellter nicht isolirter Messingstab mit Saugspitzen und Metallbürsten, welche letzteren an den Metallknöpfen streifen, steckt stark gegen den horizontalen Scheibendurchmesser geneigt, an dem vorderen Axenende, und functionirt wie bei der Holtz'schen Maschine erwähnt.

Diese Maschine kommt bei der Drehung von selbst in Thätigkeit, indem die Bürsten, an den Metallknöpfen sich reibend, eine Spur von Elektricität erzeugen, die auf den gebogenen Arm und von diesem auf die Inductoren an der Rückseite übergeht; diese erhalten also eine

schwache Ladung und induciren in den Knöpfen, welche die abgestossene Elektricität, also die gleichnamige des Inductors, an die Bürsten überführen. Diese übertragen sie wieder durch den gebogenen Arm auf die Papier-Inductoren, laden diese stärker, wodurch in den folgenden Metallknöpfen stärkere Vertheilungswirkung entsteht, und rückwirkend die Papier-Inductoren noch stärkere Ladungen erhalten u. s. w., bis man Funken längs der Glasscheibe zwischen den Knöpfen hinfahren sieht.

Vor der Scheibe steht ein horizontaler Hartgummistab, der an beiden Enden kurze Messingröhren mit Saugkämmen trägt, jede ist mit dem inneren Belege einer Leydener Flasche durch einen starken Messingdraht verbunden, so dass sich die positive und negative Elektricität an den beiden Condensatoren ansammelt; die durchbohrten Kugeln der Leydener Flaschen tragen die beiden Ausladestäbe mit isolirendem Handgriffe, um sie einander beliebig nähern zu können.

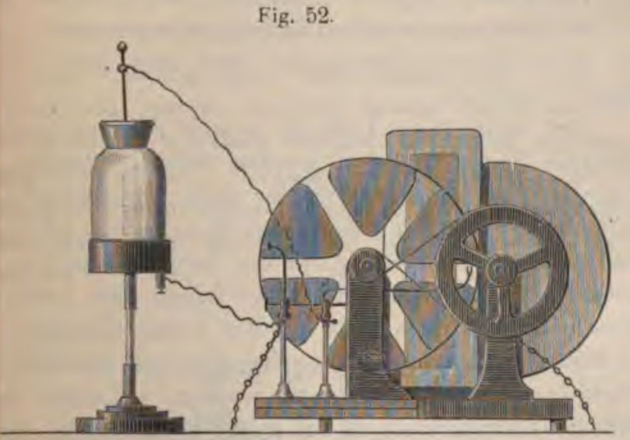
Diese Maschinen scheinen gegen den Einfluss der Feuchtigkeit minder empfindlich zu sein, als die Holtz-schen Influenzmaschinen.

Eine jede gewöhnliche Elektrisirmaschine kann nach Zenger leicht in eine Influenzmaschine verwandelt werden, indem auf dieselbe ein schellackirtes Holzgestell aufgeschraubt wird, welches auf zwei senkrechten Holzsäulen die horizontale isolirte Axe der Inductionsscheibe trägt, an welche eine kleine Rolle angesteckt ist; eine gekreuzte Schnur geht zu der grösseren hinter der Kurbel der Elektrisirmaschine aufgesteckten Rolle, die gross genug ist, eine 18- bis 20malige Umdrehung in der Secunde hervorzubringen, wenn die Kurbel der Elektrisirmaschine rasch gedreht wird.

Die Scheibe trägt 6 bis 8 bis auf ein Drittel des
ılbmessers der Scheibe zur Axe reichende Sectoren aus
nnfolie, welche auch auf die andere Seite übergreifen,
dass identische miteinander verbundene Sectoren mit
ımalen und gleichen Zwischenräumen die Scheibe bei-
rseits bedecken.

Zwei Conductoren mit Knöpfen stehen auf isoliren-
n Glasfüssen und sind mit Bohrungen, durch welche

Fig. 52.



: beiden Ausladestangen hindurchgehen, versehen.
ese tragen am Ende isolirende Hartgummischeiben und
rn Spitzen oder Kügelchen, je nach Bedarf.

Feine Metallbürsten streifen an den Sectoren und
ıd an den Enden der von den Conductoren gegen die
heibe geführten Zuleitungsdrähte befestigt. Zwischen
iden Scheiben, der rotirenden der Elektrisirmaschine
ıd der in entgegengesetzter Richtung rotirenden In-
ıenzscheibe, steht eine Glasscheibe, theilweise mit Papier-
ittchen an jener Seite beklebt, welche der Scheibe der

Elektrisirmaschine zugewendet ist. Sie ladet sich bald mit der positiven Elektricität der Scheibe und die Induction findet nach früher Gesagtem so statt, als ob eine viel dünnere Luftschicht, etwa die Hälfte so dünn, zwischen der inducirenden Fläche des Papierblättchens und der Sectoren auf der Influenzscheibe liegen würde.

An der zugewendeten Seite eines vor der feststehenden Glasplatte vorbeigehenden Sectors entwickelt sich durch die Vertheilung negative Elektricität, die positive wird auf der Rückseite desselben Sectors sich ansammeln, von der Metallbürste aufgenommen und dem einen Conductor zugeführt.

Bei fortgesetzter Drehung kommt der nun negativ geladene Sector zu der zweiten Bürste, welche die negative Elektricität dem mit ihr verbundenen Conductor zuführt; so wiederholt sich dieses Spiel sechs- bis achtmal bei einer Umdrehung, in der Secunde also 75- bis 100mal. Verbindet man die beiden Belege einer Leydener Flasche durch Kupferdrähte mit den beiden Conductoren, so wird die Wirkung noch erhöht. Sind statt Glasscheiben Hartgummischeiben verwendet worden, so wirkt diese Influenz-Elektrisirmachine bei jedem Luftzustande, wenn sie nur vorher etwas durch Ofen- oder Sonnenwärme oder Abreiben mit Seidentüchern erwärmt worden ist.

Da die Ladung sehr rasch geschieht, so kann man bei kleiner Schlagweite der Conductoren Gleissler'sche Röhren, wie mit einem Ruhmkorff'schen Inductions-Apparate sehr schön zum Leuchten bringen, Leydener Flaschen rasch laden u. s. w.

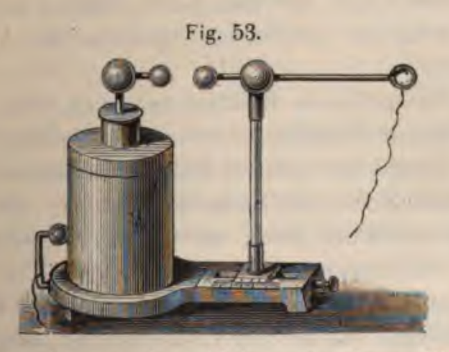
Zwei Paare von Klemmschrauben gestatten gleichzeitig Leitungsdrähte von den beiden Conductoren zu der Leydener Flasche oder zu einem anderen Apparate, z. B.

Gleissler'schen Röhren, oder zur Entladung in den menschlichen Körper zu führen, und durch passende Stellung der Entladungsstäbchen lässt sich die Intensität dieser Entladungen reguliren, wenn selbe mit Spitzen versehen sind. Je näher diese aneinandergerückt werden, desto geringer wird die Potentialdifferenz an beiden Conductoren und die Maschine kann so beliebig starke Entladungen mit oder ohne Condensator geben.

22. Die Wirkungsweise der Elektrisirmaschinen.

Die Wirkung einer Elektrisirmaschine kann, wie oben gezeigt worden, beiläufig mittelst des Quadranten-Elektrometers beurtheilt werden; zu genau messender Vergleichung der Wirkung verschiedener Elektrisirmaschinen bedient man sich hauptsächlich der elektrischen Massflasche, nach ihrem Erfinder auch Lane'sche Flasche genannt.

Fig. 53.



Sie besteht aus einer kleinen Leydener Flasche mit zwei Ladungsdrähten und Kugeln an ihren Enden. Die am inneren Belege ist die grössere und trägt an einem dicken Messingdrahte eine kleinere messingene Kugel,

welche denselben Durchmesser hat, wie eine zweite ihr gegenüberstehende und am beweglichen Auslader *A* befestigte.

Der Auslader besteht aus einem schellackirten Glasfusse, unten in Messinghülse, vermöge welcher er in einem Ausschnitte des als Untersatz dienenden polirten Holzbrettes mittelst einer Mikrometerschraube eingestellt werden und der Abstand der beiden Kugeln, an der Lane'schen Flasche und an ihrem Auslader, genau gemessen werden kann. Zu diesem Ende trägt die Messinghülse an ihrer Kante einen Nonius, der an einer Theilung längs der Messingführung gleitet und auf 0·01 Mm. die Kugeldistanzen abzulesen gestattet.

Die Kugel des Ausladers sitzt an einem Messingdrahte, welcher durch eine grössere, mit ihrer Messinghülse an den Glasfuss angekittete Messingkugel durchgesteckt ist und in einen Ring endet, in den ein Messingkettchen so eingehängt wird, dass es die Verbindung mit der zweiten Kugel der Lane'schen Flasche am äusseren Belege vermittelt, ohne sonst irgendwo den Apparat zu berühren.

Die zu prüfende Elektrisirmaschine wird nun mit der Lane'schen Massflasche so in Verbindung gebracht, dass der Knopf des inneren Beleges derselben mit dem einen Conductor der Elektrisirmaschine, das äussere Beleg, also auch der damit verbundene Auslader, mit der Erde in Verbindung steht.

Es schlagen dann Funken zwischen der Kugel des inneren Beleges und der des Ausladers über, deren Schlagweite genau messbar ist.

Damit ist für eine Leydener Flasche bestimmter Capacität die Elektricitätsmenge bestimmt, welche eine Elektrisirmaschine in einer bestimmten Zeit zu entwickeln

rmag. Allerdings ist dabei auf den Feuchtigkeitszustand r Atmosphäre und die Fortführung durch Leitung, d. h. ivollkommene Isolation nicht Rücksicht genommen, ıher die zu verschiedenen Zeiten gemachten Messungen cht miteinander direct vergleichbar sind.

Werden die Messungen mit zwei oder mehreren aschinen rasch hintereinander ausgeführt und die Funken- ngen nicht zu gross genommen, so sind die Verluste s so ziemlich gleichmässige zu betrachten.

Mascart führte eine Reihe von Versuchen über die rösse der Schlagweite und die dazu gehörige Potential- fferenz zwischen zwei Kugeln aus, welche, wie aus r Tafel hervorgeht, zeigt, dass bei geringeren Differenzen e Schlagweite der Potentialdifferenz proportional ist, r sehr grosse aber sich bedeutende Abweichungen er- ben:

Schlagweite d	Potential V	$\frac{V}{d}$
1 Mm.	18·5	18·5
5 „	90·0	18·0
10 „	165·0	16·5
15 „	195·0	13·0

Es ist daher bei messenden Versuchen nothwendig, ch mit geringen Schlagweiten zu begnügen, weil die erluste bei grösseren Schlagweiten das Potential sehr rabmindern, wegen der bei hoher Spannung grösseren erluste in derselben Zeit und wegen der längeren adungsdauer.

Um die Menge der entwickelten Elektricität zu essen, nahm Ramsden eine kleine Schlagweite und ihlte die Zahl der Umdrehungen an der Kurbel der lektrisirmaschine, welche einer bestimmten Funkenzahl ıtsprach; er fand so folgende Werthe:

Schlagweite	Zahl der Entladungen auf eine Umdrehung	nd
$d = 1$ Mm.	$n = 1 \cdot 6$	1·6
2 „	0·7	1·4
4 „	0·32	1·28
6 „	0·22	1·32
8 „	0·15	1·20
10 „	0·145	1·2[illegible]
20 „	0·061	1·2[illegible]

Also auch diese Versuche zeigen die Abnahm Elektricitätsmenge und daher auch der Potentialdi bei grösseren Schlagweiten.

Um also die Wirkung verschiedener Ele maschinen vergleichen zu können, muss man unt stimmten Bedingungen operiren; man muss zuvörde Schlagweite möglichst klein, etwa 1 Mm. nehme Maschinen in solchen Gang versetzen, dass durch lichst rasches Drehen die Maximal-Leistung erzielt Dabei ist allerdings die nützliche Reibfläche bei Rei Elektrisirmaschinen immer kleiner als die geriebene F weil die Saugkämme stets kürzer gemacht sind Breite der geriebenen Fläche, um ein Ueberschlag Funken gegen die Axe zu vermeiden.

Auch ist zu beachten, dass bei ganz grosse schinen es schwer wird, sobald die Scheibendurch einen Meter überschreiten, eine Umdrehung per Se zu machen; oft ist es kaum möglich, 40 Umdreh per Minute zu leisten. Es muss aber die Umdreh zahl per Minute bei solchen Vergleichen möglichst gehalten werden. Auch ist zu beachten, dass m Maschinen ein Reibkissen, wie die Nairne'sche Cylindermaschine, die Scheibenmaschinen meist zwei kissen haben.

Mascart giebt eine interessante Vergleichungstabelle der bei verschiedenen Maschinen erhaltenen Spannungselektricität:

Maschine	Scheiben-Durchmesser Meter	Länge des Saugkammes Meter	Leistung per Umdrehung	Nutzbare Fläche □Meter	Leistung per Flächeneinheit
Nach Ramsden	0·98	0·20	1·00	2·56	0·42
Van Marum	0·85	0·15	1·40	1·74	0·80
Nairne (Cylinder)	0·32	0·30	0·18	0·30	0·60
Holtz' Influenz	0·55	0·14	0·86	0·36	1·25
Carré (Hartgummischeibe)	0·50	0·13	0·21	0·29	0·72

Die grösste Leistung findet also bei der Holtzschen Influenz-Elektrisirmaschine statt, welche die von van Marum noch um mehr als die Hälfte übertrifft.

Noch wichtiger ist der Vergleich, den Mascart für alle neueren Quellen der Spannungselektricität ausführte, indem er eine Batterie Leydener Flaschen bis zur Entladung lud, und so die Menge der entwickelten Elektricität in der Secunde bestimmt, wie folgt:

Maschine	Umdrehungen per Secunde	Elektricitätsmenge per Secunde
Ramsden	1	1·00
Van Marum	1	1·14
Holtz, einfache	10	4·50
Holtz, doppelte	10	8·60
Carré mit Hartgummischeibe	10	2·10
Armstrong, Dampf-Elektrisirmaschine	—	2·40
Grosses Ruhmkorff'sches Inductorium	—	13·00

Die Holtz'sche Influenz-Elektrisirmaschine mit doppelter Scheibe giebt also annähernd so viel, als die bisher

kräftigste Quelle für Spannungselektricität, das Ruhmkorff'sche Inductorium.

Man kann mit dem früher beschriebenen absoluten Elektrometer von Thomson für starke Spannungen die Wirkung der Elektrisirmaschine in absolutem, d. h. mechanischem Masse ausdrücken.

Mascart hat solche Messungen an einer Holtz'schen Influenzmaschine mit zwei Platten vorgenommen, er lud eine Flaschenbatterie, bestehend aus fünf Leydener Flaschen, durch sieben Umdrehungen so, dass er am Funkenmikrometer Funken von 1 Mm. Länge erhielt.

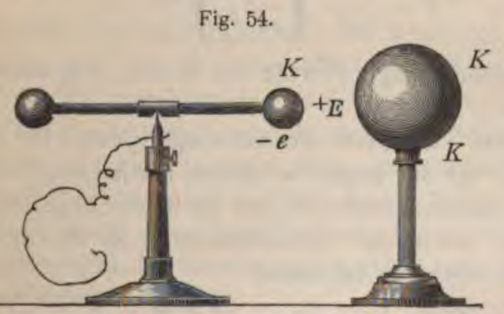
Nimmt man nun, wie Mascart es that, an, dass die Einheit der Elektricitätsmenge jene sei, welche eine Abstossung von einem Milligramm in die Entfernung eines Millimeters auf dieselbe Elektricitätsmenge ausübt, so lässt sich das Potential nach einem bestimmten Masse als Quotient einer bestimmten Elektricitätsmenge durch eine bestimmte Länge ausdrücken.

Er benutzte zwei Kugeln von sehr ungleichem Durchmesser, zwischen denen die Funken übersprangen, mit einer Vorrichtung verbunden zur Aufrechthaltung einer Maximalspannung für eine hinreichend lange Zeit, um die Versuche bequem anstellen und das Potential messen zu können.

Der eine Pol der Holtz'schen Maschine war deshalb mit der Erde in Verbindung gesetzt, der andere wurde einerseits mit einer Spitze in Verbindung gesetzt, welche auf eine bestimmte Entfernung von einem nichtisolirten Leiter aufgestellt war, während andererseits die Kugel K von grossem Durchmesser mit dem anderen Polende der Maschine in Verbindung stand. Dieser Kugel steht eine elektrische Nadel mit zwei sehr kleinen Kügelchen gegen-

über, bestehend aus einem dünnen Messingdrahte, dessen eines Ende die mit dünner Zinnfolie beklebte Korkkugel *k* trägt, am andern Ende ist sie durch eine zweite Kugel equilibrirt. Die Nadel hängt an einem Metalldrahte oder bewegt sich auf einer Metallspitze, welche mit der Erde in Verbindung steht. Durch Vertheilung wird von der auf der Kugel *K* angehäuften Elektricitätsmenge $+E$ auf der kleinen die Menge $-e$ erregt. Ist nun das Potential der grossen Kugel V_1 und R ihr Halbmesser, r der Halbmesser der kleinen Kugel an der elektrischen Nadel, so

Fig. 54.



ist, wegen der Kleinheit von r, sowie im Thomson'schen absoluten Elektrometer die Vertheilung der Elektricität als eine gleichförmige anzunehmen, wenn die Distanz beider Kugeln sehr gross genommen worden ist.

Da nun die kleine Kugel mit der Erde in Verbindung steht, so ist ihr Potential Null, und ist nun a die Entfernung der Mittelpunkte beider Kugeln, so wird für ihren Mittelpunkt die Gleichung gelten:

$$-\frac{e}{r}+\frac{E}{a}=o, \text{ und daher:}$$

$$e=\frac{Er}{a}.$$

Ebenso wird für den Mittelpunkt der grossen K
die Gleichung des Potentials bestehen:

$$V = \frac{E}{R} - \frac{e}{a} = \frac{E}{R}\left(1 - \frac{Rr}{a^2}\right)$$

Da nun die elektrische Einwirkung wie b
fernwirkenden Kraft durch die Gleichung gefund

$$S = \frac{Ee}{a^2} = \left(\frac{VR}{1-\frac{Rr}{a^2}}\right)^2 \frac{r}{a^3},$$

so ist auch:

$$S = \frac{V^2 R^2 r}{a^3}\left(\frac{1}{1-\frac{Rr}{a^2}}\right)^2$$

indem man obige Werthe für E und e in dies
führt.

Man kann nun die Schwingungszahl in d
einheit für die gegebene Nadel bestimmen, w
ihr Trägheitsmoment M für die halbe Länge de
kennt, sowie das Torsionsmoment M für die
des Winkels; es ist dann:

$$N^2 = \frac{Sl + C}{\pi^2 M}.$$

Ist die Nadel unelektrisch, so ist ihre Schwingu
durch die Gleichung bestimmt:

$$n^2 = \frac{C}{\pi^2 M}.$$

Daraus ergiebt sich:

$$N^2 - n^2 = \frac{Sl}{\pi^2 M} = \frac{l V^2}{\pi^2 M} \cdot \frac{R^2 r}{a 3} \cdot \left(\frac{1}{1-\frac{Rr}{a^2}}\right.$$

In obigem Ausdrucke ist $\frac{Rr}{a^2}$ für grosse
beider Kugeln sehr nahe Null, also reducirt

Gleichung für die Differenz der Quadrate der Schwingungszahlen in beiden Beobachtungsfällen auf:

$$N^2 - n^2 = \frac{l\,V^2}{\pi^2 M} \frac{R^2 r}{a^3}.$$

Mascart benutzte eine Kugel von $R = 117$ Mm. Halbmesser, die Kugel an der elektrischen Nadel war vom Halbmesser $r = 10{\cdot}5$ Mm. und der Abstand ihrer Mittelpunkte war verschieden in den Versuchsreihen von: $a = 180$ bis 240 Mm.

Der Werth von $\frac{R\,r}{a^2}$ war daher kaum $\frac{4}{100}$, und da überhaupt keine grosse Genauigkeit bei derartigen Versuchen erreichbar ist, zu vernachlässigen. Dreht man nun die Holtz'sche Maschine recht gleichmässig, so ladet sich die grosse Kugel ebenfalls sehr gleichmässig bis zu einem bestimmten Potentiale V; so wie dieses überschritten wird, sieht man aus der Spitze Büschellicht hervortreten; durch diese Ausladung wird das Potential stetig erhalten und die Schwingungen gehen sehr regelmässig vor sich.

Sind nun die Potentiale V_1, V_2, $V_3 \ldots$ welche der Apparat bei den verschiedenen Abständen $A_1, A_2, A_3 \ldots$ der Spitze von dem nichtisolirten Leiter hat, so gehören dazu bestimmte Wirkungsgrade der Maschine.

Man entfernt die Nadel und schaltet ein Funken-Mikrometer ein, dessen eine Kugel mit der Erde in Verbindung steht, und bestimmt die zu den Entfernungen A_1, A_2, $A_3 \ldots$ der Spitze vom nicht isolirten Leiter zugehörigen Funkenlängen d_1, d_2, $d_3 \ldots$. Diese Versuchsreihe ergiebt dann die Schlagweite zwischen den zwei Kugeln des Mikrometers für ein bekanntes Potential V.

Mascart fand in einer solchen Versuchsreihe die nachfolgenden Schlagweiten und zugehörigen Potentiale:

Schlagweite der Funken d	Absoluter Werth des Potentials V	$\frac{V}{d}$
1 Mm.	18·5	18·5
5 „	90·0	18·0
10 „	165·0	16·5
15 „	195·0	13·0

Es wächst das Potential also minder rasch, als die Schlagweite der Funken. Harris fand durch längere Versuche, dass die nöthige Elektricitätsmenge für eine bestimmte Schlagweite dem Luftdrucke proportional sei; später bestätigte Masson dieses Gesetz. Ist daher die Schlagweite auch dem Potential proportional, so muss die Schlagweite im umgekehrten Verhältnisse des Druckes bei gleichen Ladungsmengen stehen. Die Variation des Luftdruckes müsste also für vergleichbare Versuche jedenfalls berücksichtigt werden.

Da nun bei den Versuchen Mascart's für die Schlagweite von 1 Mm. die Potentialdifferenz 18·5 sein muss, so braucht man nur noch die Capacität der Batterie zu bestimmen, um die Wirkung der Elektrisirmaschine in absolutem Masse, hier also im Millimeter-Milligramm-Secunden-Masse zu erhalten.

Diese zu bestimmen, nahm Mascart einen kugelförmigen Condensator von 0·54 Meter Durchmesser, der zwischen zwei Halbkugeln gestellt wurde, deren innerer Durchmesser 0·60 Meter betrug.

Die Capacität des Condensators war:

$$0{\cdot}27 \times \frac{30}{3} = 2{\cdot}70 \text{ Meter},$$

also würde eine isolirte Kugel, jedem anderen äusseren

Einflusse entzogen, dieselbe Capacität haben, wenn ihr Halbmesser 2·7 Meter betragen würde. Da jedoch die Capacität kaum ein Zehntel derjenigen einer einzigen Flasche in der erwähnten Batterie war, so wurde sie zuerst mit kleineren Flaschen und diese mit der Batterie verglichen, so dass er endlich fand, wie vielmal die Capacität der fünf Flaschen grösser ist, als die des kugelförmigen Condensators, und zwar geschah die Vergleichung, wie schon früher angedeutet, mittelst des Funkenmikrometers.

Er fand die Capacität in obigem Masse der Batterie in dieser Weise zu: 225 Meter oder 225.000 Millimeter.

Die Elektricitätsmenge ist demnach:

$$E = 225{\cdot}000 \times 18{\cdot}5 = 4200000 \text{ Einheiten.}$$

Da nun sieben Umdrehungen an der Holtz'schen Maschine erforderlich waren, um das obige Potential von 18·5 zu erzeugen, so entfällt auf eine Umdrehung die Zahl von 600·000 Einheiten.

Die Maschine konnte bis 22 Cm. lange Funken geben, was nach Mascart's Versuchen ungefähr einer zwölfmal grösseren Potentialdifferenz entspricht, als die zur Schlagweite von 1 Mm. gehört, d. h. also einer Potentialdifferenz von $12 \times 18{\cdot}5 = 222$.

Darnach ist die elektrische Energie, welche sich bei einer Umdrehung der Holtz'schen Maschine entwickelt:

$$\frac{1}{2} EV = \frac{600{\cdot}000}{2} \times 222 = 67000000$$

im Millimeter-Milligramm-Masse.

Diese Energie entspricht also 0·067 Kilogrammometern.

Bei 15 Umdrehungen, dem erreichbaren Maximum der Umdrehungsgeschwindigkeit bei der Holtz'schen

Maschine, würde sich die in der Secunde aufgewendete Arbeit zu 1 Kilogrammometer oder $^1/_{75}$ Pferdekraft ergeben.

Eine Pferdekraft würde also zum Betriebe von 75 solcher Doppel-Elektrisirmaschinen ausreichen, wie jene, welche zu den Versuchen verwendet worden, ohne Rücksichtsnahme auf anderweitige Widerstände und Kraftverluste.

Van Marum's berühmte Elektrisirmaschine lud mit 100 Umdrehungen eine Batterie von 135 Flaschen, jede von einem Quadratfusse Oberfläche bis zur selbstthätigen Ausladung zwischen den beiden Belegen.

Da diese Entladung bei der Maximalspannung 25 Fuss Eisendrahtes von $^1/_{240}$ Zoll Dicke schmolz, was 661 Milligramm Eisen beträgt, welche:

$$661 \times \frac{250}{109} = 0 \cdot 165$$

Calorien zum Schmelzen brauchen, so ist das Energie-Aequivalent:

$$0 \cdot 165 \times 436 = 72 \text{ Kilogrammometer.}$$

Im Millimeter-Milligramm-Masse ist also die Energie dieser Batterie:

$$72 \times 10^9 \text{ Einheiten.}$$

Es erübrigt noch die Menge der Elektricität zu bestimmen. Die elektrische Energie K wird durch den Ausdruck gemessen:

$$K = \frac{1}{2} E V,$$

wo E die Elektricitätsmenge, V das Potential bedeuten. Man hat sonach, da

$$V = \frac{E}{C} \text{ ist:}$$

$$K = \frac{1}{2} \frac{E^2}{C};$$

worin C die Capacität bedeutet. Hieraus findet man endlich die Elektricitätsmenge:

$$E = \sqrt{2\,KC}.$$

Die Capacität der Batterie war aber in dem besprochenen Falle:

$$C = 135 \times 13{\cdot}50 = 1820^m = 1820000 \text{ Mm.},$$

hieraus ergiebt sich die Elektricitätsmenge:

$E = \sqrt{2 \times 72 \times 10^9 \times 1{\cdot}82 \times 10^6} = 512 \times 10^6$ obiger Einheiten.

Da 100 Umdrehungen für die Entwicklung dieser Elektricitätsmenge erforderlich waren, so entfallen für eine Umdrehung an entwickelter Elektricitätsmenge:

$$E_1 = 512 \times 10^4 = 5120000 \text{ Einheiten.}$$

Dies ist etwa die achtfache Elektricitätsmenge der Holtz'schen Doppel-Elektrisirmaschine. Da es aber nicht möglich war, effectiv 100 Umdrehungen in der Secunde zu leisten, sondern als das Maximum der Drehungsgeschwindigkeit mit der Hand nur etwa 40mal in der Secunde sich ergab, so ist die Ergiebigkeit thatsächlich zweimal kleiner als an der Holtz'schen Influenzmaschine mit doppelter Scheibe und bei gleicher Umdrehungszahl.

Fünfter Abschnitt.

23. Die Wirkungen der Elektricität.

Die Wirkungen der Spannungselektricität sind mannigfaltige, und nach der oben angeführten Messung wohnt derselben eine bedeutende Energie inne, so zwar, dass ihre Wirkungen meist viel grösser sind, als die der Schwerkraft.

Man hat diese mechanischen Wirkungen der Elektricität schon in den ältesten Zeiten in der Anziehung leichter Körperchen durch geriebenen Bernstein beobachtet; viel später erst gelang es Otto Guericke, die Licht und Schall erzeugenden Wirkungen der elektrischen Entladung zu beobachten, und durch die von ihm erfundene Elektrisirmaschine traten bald genug auch die übrigen Erscheinungen hervor.

Es wurden die elektrischen Erschütterungen des Körpers, die physiologischen Wirkungen des Funkens wahrgenommen, welche zuerst Kratzenstein, praktischer Arzt in Halle, und Bohatsch in Prag für Heilzwecke um die Mitte des 18. Jahrhunderts zu verwenden suchten. Die stete Vervollkommnung der Elektrisirmaschine und die Erfindung der Leydener Flasche ermöglichten bald auch die übrigen Wirkungen der Elektricität wahrzunehmen und zu studiren, namentlich die heftigen, Explo-

sionen gleichenden Schallwirkungen beim Entladen grosser stark geladener Batterien Leydener Flaschen, das Schmelzen von Eisen- und Platindrähten, die Verdampfung von Gold- und Silberfolien durch dieselben, als Beweise der hohen Wärmegrade, welche sich durch kräftige Entladungen hervorbringen liessen.

Man fand bald die chemischen Wirkungen bei elektrischen Entladungen, namentlich durch die Bildung von Salpetersäure in der Luft bei Gewittern, welche im Regenwasser schon von Margraf und Bergmann nachgewiesen wurden. Der eigenthümliche Geruch, den die Entladungen einer kräftigen Elektrisirmaschine verbreitet, ist gleichfalls beobachtet worden, und durch eine chemische Veränderung des Sauerstoffes in der umgebenden Luft, der in Ozon oder activen Sauerstoff überführt wird, erklärt worden auch Salzlösungen wurden durch kräftige Entladungen zerlegt und so die chemischen Wirkungen der Elektricität erwiesen.

Zu den wichtigsten Wirkungen der Elektricität gehören aber die magnetischen Wirkungen, welche schon kurz nach Erfindung des Compasses auf von Blitzschlägen getroffenen Schiffen wahrgenommen worden, indem die Magnetnadeln des Compasses ummagnetisirt erschienen. Später fand man die Leitungsstangen und Drähte der Blitzableiter stark magnetisch. Schon Franklin suchte Stahlnadeln dadurch zu magnetisiren, dass er durch sie kräftige Funken der Elektrisirmaschine schlagen liess. Wir wollen nun im Nachfolgenden die einzelnen Wirkungsweisen der Elektricität, die mechanischen Licht- und Wärmewirkungen, sowie die physiologischen, chemischen und magnetischen Wirkungen einer eingehenden Betrachtung unterziehen.

24. Die mechanischen Wirkungen.

Die mechanischen Wirkungen der elektrischen Entladungen sind umso grösser, je höher das Potential steigt, und treten daher in ihrer vollsten Entwicklung bei in Cascadenverbindung zusammengestellten Leydener Flaschen, geladen mit einer kräftigen Holtz'schen Influenzmaschine, auf. Ihr Effect kann, wie oben gezeigt worden, sogar dem grosser Ruhmkorff'scher Inductorien sehr nahe kommen.

Schon die Gestalt der Entladung bei einer bestimmten Schlagweite durch Luft ist ein Anzeichen dieser mechanischen Wirkung.

Während die Funken einer gutwirkenden Elektrisirmaschine bei kleiner Schlagweite als hellglänzende, gerade, dünne Cylinder erscheinen (Fig. 55) — bei Van Marum's

Fig. 55.



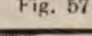
berühmter Elektrisirmaschine hatten diese die Stärke einer Federpose — hören bei immer zunehmender Schlagweite zwischen Conductor und Entlader die Entladungen auf geradlinig zu sein und nehmen, wie Fig. 56 zeigt, die

Fig. 56.



Gestalt einer gebrochenen oder Zickzacklinie an; bei den grössten Entfernungen beider, in der noch Entladungen

erfolgen, verästeln sich diese und erscheinen in mattem bläulichvioletten Lichte (Fig. 57).


Fig. 57



Macht man den Versuch im Dunkeln, so sieht man die dünne, etwas hellere Funkenentladung von dem sogenannten Büschellichte (Fig. 58) umgeben.

Die Erscheinungen erklären sich durch den Widerstand des Isolators in der Luft; die Entladung sucht jene Stellen der immer mit Wasserdampf und Staubtheilchen gemischten Luft für ihren Durchgang, welche besser leiten, daher geringeren Widerstand bieten. So entstehen jene Ramificationen und die Büschelentladung im Widerstand leistenden Mittel natürlich umso auffälliger, je grösser dieser Widerstand wird.

Es entsteht also in einem ungleichförmig leitenden Mittel, wie es die Luft ist, eine gebrochene Bahn des Entladungsfunkens, statt einer geradlinigen, und lässt sich dies sehr gut auch in flüssigen Isolatoren, sowie in festen bei hinreichend kräftigen Entladungen sichtbar machen.

Noch besser kann dies nachgewiesen werden, wenn die Entladung längs sehr glatter Oberflächen von Isolatoren, Harzkugeln, Hartgummischeiben u. s. w. gleitend statt-

findet. Bestäubt man dieselben nach der Entladung
sehr weit abstehenden Entladern, so findet man den W
des Funkens abgebildet, selbst mit seinen feinsten V
ästelungen, namentlich dann, wenn die polirten Fläch
nicht ganz frisch sind, sondern durch die stets unglei
förmige Condensation des Wasserdampfes an ihnen e

Fig. 58.



sehr ungleichförmig leitende Oberfläche entstanden
Die Entladung folgt dann den Stellen geringsten Wi
standes in der Luft und an der Oberfläche des Isolat
und es entsteht bei grosser Schlagweite die zickz
förmige Entladung, wie die vorstehende Figur 56 z
welche durch Behauchen sichtbar gemacht werden k
und ganz jener in der Luft entspricht. Zugleich tr
feine Verästelungen ein, und im Dunkeln ist die l

zickzackförmige Funkenentladung von dem bläulichen sogenannten elektrischen Büschellicht umgeben.

Ist die Luft verdünnt oder leitet man die Entladung durch einen mit verdünnten Gasen erfüllten Raum, so wird die Entladung bei demselben Potential auf umso grössere Strecken erfolgen, je weiter die Verdünnung getrieben worden. Dies zu zeigen dient das elektrische Ei, ein ovales Glasgefäss mit beide Enden luftdicht verschliessenden Messinghülsen.

Fig. 59.



Die obere hat eine Stopfbüchse mit einem oben abgerundeten Zuleitungsdraht aus Messing, der im Glase mit einem Ovoid endet; ebenso ist in der unteren Hülse ein Draht mit einem Ovoide am Ende befestigt und in leitender Verbindung mit der Ansatzröhre, welche mit einem gut schliessenden Hahn versehen ist und sich einerseits an eine Luftpumpe, andererseits an den Messingfuss des

Apparates anschrauben lässt. Evacuirt man das eiförmige Glasgefäss, so wird bei einer gewissen Verdünnung, zwischen den Ovoiden, welche mit den beiden Conductoren einer Elektrisirmaschine oben und unten mittelst der oberen und unteren Messingfassung verbunden worden, zuerst ein linienförmiger Entladungsfunken, bei noch weiter getriebener Verdünnung aber eine büschelförmige Entladung entstehen. Dabei ist das mit dem negativen Conductor oder der Erde in Verbindung gesetzte Ovoid von einer violett-röthlichen Aureole umgeben, das mit dem positiven Conductor verbundene Ovoid zeigt nur am äussersten Ende ein purpurrothes Licht, der übrige Theil des Ovoides bleibt dunkel.

Fig. 60.



Beträgt der Druck weniger als 2 bis 3 Mm., so wird das Strahlenbündel immer verschwommener und bildet endlich eine blosse ovale Nebelhülle, das Glimmlicht, welches am positiven Ende des Ovoids röthlich, am negativen Ende aber dunkelviolett erscheint.

Bei Anwendung einer Influenzmaschine von Holtz oder von Zenger verbindet man den Zuleitungsdraht des einen Ovoids mit dem positiven Knopf, den andern mit dem negativen Knopf des Entladers. Krümmt man ein Barometerrohr heberförmig, und füllt es mit aus-

gekochtem Quecksilber, kehrt beide mit Korken gut verstopfte Enden in zwei mit Quecksilber gefüllte niedrige, oben aber genügend weite Gläser um, entfernt hierauf vorsichtig unter Quecksilber die Korke, so bildet sich in dem gekrümmten Theile der über 30 Zoll langen Schenkel die Toricellische Leere, und werden zu beiden Gefässen Drähte von den Ausladern einer Influenzmaschine geleitet, so erhält man ein blasses undulirendes Licht, dessen Wellenbewegungen vom positiven zum negativen Ende der Quecksilberkuppen gerichtet erscheinen.

Die Lichterscheinung wird durch Erwärmen der Röhre stärker, weil sich in dem Vacuum dann mehr Quecksilberdampf entwickelt.

Plücker und Gassiot zeigten, dass im absoluten, durch chemische Mittel erzeugten Vacuum, in welchem die letzten Spuren der Gase, die selbst eine gute Luftpumpe noch zurücklässt, durch Absorption in Kohle oder durch chemische Verbindungen entfernt worden, der Widerstand wieder sehr rasch wächst und in absoluter Leere so gross wird, dass die stärksten Potentialdifferenzen nicht genügen, ihn zu überwinden, das elektrische Ei bleibt dann dunkel.

Alvergniat construirte Glasröhren, sogenannte Geissler'sche Röhren, aus denen mittelst der Geissler-schen Quecksilberluftpumpe das Gas bis auf eine Spur beseitigt worden. In die beiden Glasenden sind Platindrähte eingeschmolzen und die Drahtenden bis auf $^1/_{10}$ Mm. genähert. Er erhielt die zugeschmolzenen Röhren durch längere Zeit in starker bis zur Erweichung des Glases gehender Gluth, wodurch die Gasreste von den Glaswänden und den Metalldrähten absorbirt werden, so dass ein weitaus die Grenzen der mit einer guten Luftpumpe

erreichbaren Verdünnung überschreitendes Vacuum erzielt wurde.

Wiewohl eine solche Alvergniat'sche Röhre nur $^1/_{10}$ Mm. des Vacuums zwischen den Enden der Leitungsdrähte übrig lässt, so bleibt die Röhre doch dunkel, selbst wenn die Drähte mit den kräftigsten Influenzmaschinen oder dem Ruhmkorff'schen Inductorium verbunden werden. Der Widerstand scheint daher selbst für die grösste elektrische Energie unüberwindbar.

Fig. 61. Fig. 62.



Der elektrische Wind entsteht durch die rasche Elektrisirung zu hohem Potential der eine Spitze umgebenden Lufttheile, wenn diese auf einen Conductor der Elektrisirmaschine aufgesteckt wird. Die Lufttheilchen werden kräftig von der gleichnamig geladenen Spitze weggetrieben und eine genäherte Lichtflamme durch diesen Luftstrom wie durch ein Blaserohr umgebogen (Fig. 61).

Wird ein Draht mit umgebogenen und zugespitzten Enden oder mehrere solche (Fig. 62) mit einem Hütchen in der Mitte auf einer Stahlspitze balancirt, welche durch einen Glasfuss isolirt ist und durch einen Zuleitungsdraht

mit dem Conductor der Elektrisirmaschine verbunden worden, so entsteht das elektrische Flugrädchen, welches wie das Reactionsrad (Turbine) in der entgegengesetzten Richtung, nach welcher die Spitzen weisen, in sehr rasche Bewegung geräth.

Die durch die Spitzenwirkung sich rasch ladenden Luftschichten wirken abstossend auf die gleich elektrischen Spitzen des Rädchens ein und bringen diese der Spitzenrichtung entgegengesetzte Bewegungsrichtung hervor.

Fig. 63.



Hängt man ein Blechgefäss mit feinen capillaren Ausflussröhrchen am unteren Ende, das mit Wasser gefüllt worden, an den Conductor einer Elektrisirmaschine, so fliesst, wenn diese nicht in Thätigkeit ist, das Wasser tropfenweise aus; sobald gedreht wird, strömt es in continuirlichen Fäden aus. Doch ist in beiden Fällen die Menge des ausgeflossenen Wassers beinahe gleich, was wohl nur durch die sich entgegenwirkenden elektrischen Anziehungs- und Abstossungskräfte erklärlich wird.

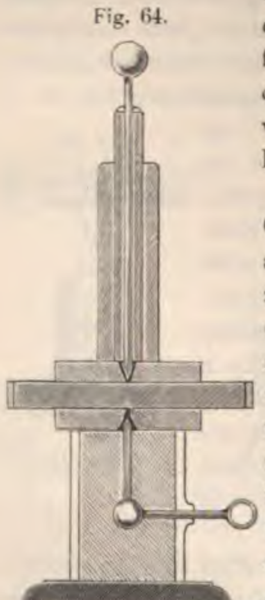
Thomson benutzte dies Verhalten capillarer Röhren bei seinem, Syphon-Recorder benannten Telegraphen, zum Zeichengeben.

Die mechanische Wirkung des Entladungsfunkens bei hohem Potential, durch eine mit Flüssigkeit gefüllte verschlossene Flasche geleitet, überträgt sich in Folge der Incompressibilität der Flüssigkeiten auf die Gefässwände, welche zertrümmert werden.

An den festen Körpern, welche Isolatoren sind, z. B. Pappe, Holz, Glas, lässt sich die mechanische Wirkung

durch einen besonders construirten Auslader zeigen. Durch eine mit Schellack ausgegossene Glasröhre, die eine mit einer konischen Oeffnung in der Mitte versehene dicke und übergreifende Glasplatte p schliesst, geht ein starker Messingdraht in der Richtung der Axe des Glascylinders durch, oben mit einem Messingknopf und mit einer feinen durch die konische Oeffnung der Glasplatte durchgehenden Spitze versehen, welche in der Ebene der Platte endet.

Fig. 64.



Eine kürzere aber etwas breitere Glasröhre, ebenfalls mit Schellack ausgegossen, trägt in ihrer Axe den zweiten Zuleitungsdraht, dessen eines Ende in eine feine Spitze ausgeht, welche durch die konische Oeffnung der oben abschliessenden und ebenfalls übergreifenden dicken Glasplatte geht. Das andere Ende ist überall von Schellack umgeben und endet in eine Kugel, von der ein horizontal gerichteter Draht mit einem Ringe am Ende geführt ist, welcher mit der Erde oder dem äusseren Belege einer Flaschenbatterie verbunden wird, während der obere Knopf des zweiten Zuleitungsdrahtes durch einen Handentlader mit dem inneren Belege derselben in Verbindung gesetzt wird. Liegt zwischen den beiden Endplatten der oberen und unteren Glasröhre eine dicke Glasplatte, so wird diese durchbohrt, und häufig sieht man röhrenförmige Verästelungen im Glase an der Durchbohrungs-

stelle, welche an die in der Natur oft angetroffenen Blitzröhren und zugleich an die Gestalt des Büschellichts in der Luft erinnern. Die Blitzröhren entstehen durch Blitze, welche sandigen Boden trafen und denselben durchbohrten.

Dieselben haben häufig eine Länge von vielen Metern und zeigen sich bis auf 2 Meter Länge auch in Felsstücken, die vom Blitze getroffen wurden.

Es ist dies ein Beweis der hohen Spannung der Luftelektricität, welche Blitze von mehreren Kilometern Länge erzeugt und selbst im Fussboden noch mehrere Meter tiefe Löcher zu schlagen vermag. Die grösste bisher bekannt gewordene Länge der Blitzröhren ist etwa 10 Meter, doch sind dieselben oft vielfach verzweigt, mit abnehmendem Durchmesser, während die Hauptröhre oft bis 5 Cm. im lichten Durchmesser zeigt.

Die Zerstörungen an Gebäuden, Bäumen u. s. w. sind ein weiterer Beweis der grossen mechanischen Wirkungen hochgespannter Luftelektricität; eine der grössten Kraftäusserungen des Blitzes führt Pfaff an. In einem Hause in Manchester, welches am 6. August 1809 vom Blitze getroffen wurde, verschob der Blitzschlag eine Mauer von 12 Fuss Höhe und 3 Fuss Dicke zwischen einem Keller und einer Cisterne derart, dass die hölzernen Verbindungsstücke zwischen beiden zerbrochen wurden und die Verschiebung an einer Seite 4 Fuss, an der andern 9 Fuss betrug.

Die Grösse dieser Wirkung ergiebt sich aus dem Umstande, dass das verschobene Mauerstück aus 7000 Ziegeln bestand, was einem Gewichte von 52.000 Pfunden entspricht, und doch ist diese Wirkung noch nicht die gesammte Energie der Entladung, da ein grosser Theil

derselben noch Licht, Wärme und selbst chemische Wir-kungen hervorbringt.

Dünne Metalldrähte und Bleche, Zinnfolie und Blatt-gold zwischen zwei Glasplatten gelegt, werden ge-schmolzen, verflüchtigt und auch zerstäubt; dickere Dräht werden zerrissen oder doch in ihrer Textur geänder und brüchig gemacht, wenn die sehr kräftige Entladung au einer Flaschenbatterie durch dieselben geleitet wird. Be Blitzschlägen findet man häufig Drahtleitungen, über welch die Entladung stattgefunden, in Stücke zerfallen.

Zu den mechanischen Wirkungen der Entladun gehören auch die Priestley'schen Ringe. Priestle fand nämlich, dass bei der Entladung einer Kugel gege eine polirte Metallplatte aus Zinn, Blei, Messing, Gol Stahl, Eisen und Silber ein schwärzliches Pulver sic als kreisförmiger Fleck, umgeben mit einem Ringe vo schwärzlicher Farbe, ablagert. Dieser Ring ist untermisch mit glänzenden Theilchen offenbar geschmolzener Metall partikelchen, die fest an der polirten Platte adhäriren.

Mit Zinnfolie erhielt Priestley bis drei concentrisch Ringe um den centralen Fleck herum, und fand, da ihre Zahl mit der Capacität der angewendeten Leyden Flaschen und mit der Leitungsfähigkeit der Metalle wächs In verdünnter Luft fand er Verbreiterung der Ringe un schloss daraus, dass die Entladung in concentrische Cylinderflächen erfolge.

Es werden also von der Kugel, wie man schon m blossem Auge bemerkt, kleine Metalltheilchen losgerisse welche dann schmelzen und auf der Kugel mit ein Lupe leicht erkennbare Vertiefungen zurücklassen, d auf die spiegelnde Metallplatte übertragen worden, w sie haften blieben. Es entsteht also eine Uebertragun

von der positiven Kugel des Ausladers gegen die polirte Platte.

Fusinieri entlud die silberne Kugel einer Flaschenbatterie und liess den Funken durch eine $^1/_3$ Mm. dicke Kupferplatte gegen die Kugel am Entlader gehen. Es fanden sich kleine konische Löcher im dünnen Kupferblättchen, welche Silbertheilchen enthielten, und ebenso war die Kugel des Entladers mit Silberflecken bedeckt. Oft fand aber die Uebertragung der Theilchen auch in entgegengesetzter Richtung statt, wenn die Entladung z. B. zwischen einer Kugel aus Gold und aus Silber stattfand; er fand dann Goldflecken auf der Silberkugel und Silberflecken auf der Goldkugel.

Dass die Kraft, mit der die Metallkügelchen durch die Entladung fortgeschleudert werden, sehr gross sei, ergiebt sich schon daraus, dass Van Marum geschmolzene Eisentheilchen bis auf mehr als 10 Meter Entfernung bei seinen kräftigen Batterien fortgeschleudert vorfand.

Die Entladung der verschiedenen Elektricitäten gegen die Oberfläche von Isolatoren: einen blanken Harzkuchen oder eine glatte Harzgummischeibe, verhalten sich sehr verschieden.

Rührt die Entladung von positiver Elektricität her, so pflanzt sie sich über einen grossen Theil der glatten Oberfläche des Isolators fort (*a*, Fig. 65), es entsteht ein rundlicher Fleck mit radialen Ausläufern von ziemlicher Ausdehnung, bei negativer Entladung blos rundliche Flecken (*b*), die durch Bestäuben mit Lycopodiumpulver sichtbar gemacht werden können und nach ihrem Entdecker Lichtenberg'sche Figuren genannt werden.

Die grössere Ausdehnung der positiven Entladung auf der Oberfläche von Isolatoren wurde von Riess ein-

gehenden Untersuchungen unterzogen, und er glaubt de
Unterschied in der Form der Entladung positiver un
negativer Elektricität der stets auf den Oberflächen de
Isolatoren vorhandenen condensirten atmosphärische
Feuchtigkeit und Stäubchen, welche daran adhärire
zuschreiben zu sollen.

Fig. 65.



Lässt man statt durch Berührung zu laden, ein
Kugel, die mit dem positiven Conductor einer Elektrisi
maschine verbunden ist, auf einige Distanz durch länger
Zeit die Harzoberfläche laden, so findet man beim Bestäube
keine strahlige Figur, sondern auch nur runde, aber seh
regelmässige Flecken, ganz so wie bei der Ladung m
negativer Elektricität.

Diese Erscheinungen lassen sich daher nur durch den Einfluss der Gastheilchen und Staubtheilchen, welche in der Luft stets suspendirt sind, erklären. Fährt man mit einem spitzen Metallstift, der mit dem einen Pol einer kräftigen Trockensäule (Zamboni'schen Säule) in Verbindung ist, über den Harzkuchen, so zeigen die bestäubten Striche keinen Unterschied, ob der Stift mit dem positiven oder negativen Pole in Verbindung stand.

Wiedemann hat diesen Versuch dahin abgeändert, dass er eine Nähnadel mit der Spitze gegen eine Glasplatte, einen Harzkuchen, oder sonst ein amorphes homogenes Dielektricum, oder gegen eine Platte aus einem, in dem regulären Systeme krystallisirenden, isotropen Körper gerichtet, zur Entladung benutzte. Die Platten wurden jedoch vor dem Versuche mit Lycopodium bestäubt, es entstanden dann lauter concentrische Kreise.

Ist die Platte aus einem anisotropen Körper oder einem Krystalle, welcher nicht dem regulären Systeme angehört, hergestellt, so sind die Figuren oft stark excentrische Ellipsen, wie z. B. bei einer Gypsplatte, wo das Verhältniss der Axen bis 3 : 1 ist. Wiedemann fand, dass die positive Elektricität viel schärfere und regelmässigere Figuren ergiebt, als die negative, wo sie kleiner und unregelmässig ausfallen.

Die Leitung der Elektricität an den Oberflächen (Gleitflächen) ist also nach der Richtung der grossen Axe der Ellipsen ein Maximum, nach der kleinen Axe ein Minimum. Bei allen von Wiedemann untersuchten Krystallplatten fiel die krystallographische Hauptaxe mit einer der beiden Axen der Elektricitätsleitung zusammen, und die Elektricität scheint sich auch in der Richtung

leichter fortzupflanzen, in welcher das Licht sich schneller fortpflanzt.

Zu den mechanischen Wirkungen zählen auch die elektrischen Bilder, welche Riess sehr schön hervorbrachte, indem er ein Siegel mit einer Spitze versah und ihm eine schwache aber sehr constante, positive Elektricitätsquelle näherte. Je länger die Ladung dauerte, und je schwächer die Elektricitätsquelle war, desto besser und schärfer trat die Gravure des Siegels hervor, wenn er die Berührungsstelle mit der Mischung von Mennig und Lycopodiumpulver überpuderte. Er wandte dazu den positiven Pol einer Trockensäule von Zamboni an. Die Vertiefungen des Siegels erscheinen roth auf gelbem Grunde; die Zeichnungen erscheinen umso schärfer, je schwächer die Spannung der Elektricität war.

Ist die Spannung hingegen sehr gross und lässt man 6 bis 8 Cm. lange Funken längs der Oberfläche gleitend sich entladen, so findet man, dass die Stellen, welche der Funkenweg berührte, viel leitender geworden sind. Ist es eine Glasplatte, so kann man oft sichtbare Bilder der Entladung durch Veränderung der polirten Oberfläche wahrnehmen. Durch Behauchen erhält man die Gestalt der verästelten Entladungsform getreu abgebildet, durch die Lupe erscheint das Glas an diesen Stellen ohne Politur, und unter einem glatten berührenden Körper giebt die Oberfläche ein knirschendes Geräusch.

Mit dem Elektroskop geprüft erweisen sich diese rauh gewordenen Stellen leitender als die glatt gebliebenen der Glasoberfläche.

Glimmer oder Gypsblättchen zeigen diese Erscheinung noch auffälliger, und sind hier sowohl im durchfallenden, als auffallenden Licht gut sichtbar.

Ganz analog den Moser'schen Hauchbildern kann man elektrische Bilder erzeugen und durch Anhauchen oder durch Condensation von Quecksilberdämpfen auf den Oberflächen sichtbar machen.

Ein Geldstück, eine Medaille oder ein Kupferstich sind nach Fizeau stets mit fremdartigen Stoffen bekleidet, mit condensirten Gasen, flüchtigen organischen Stoffen, Fetten u. s. w., welche auf eine glänzend polirte Fläche schon bei der blossen längeren Berührung sich übertragen können, und beim Behauchen der Platten, als sogenannte Moser'sche Hauchbilder sichtbar werden, indem sich an den berührenden Stellen mehr an die polirte Oberfläche von den Stoffen ansetzt, als an den vertieften Stellen des Originals.

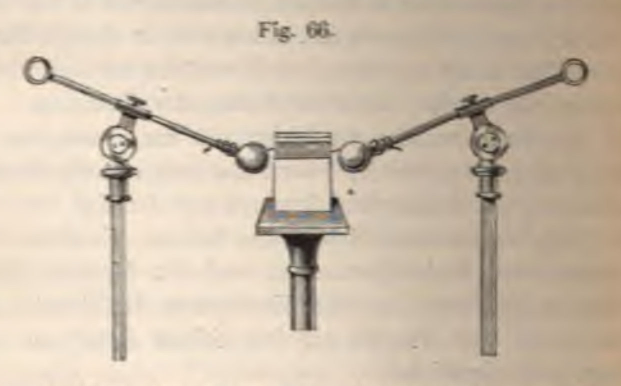
Karsten wandte die Elektricität zur Erzeugung der Moser'schen Hauchbilder zuerst an, indem er die Medaille auf eine polirte Glasplatte legte, unter der sich eine mit der Erde verbundene Metallplatte befand. Er liess dann Funken der Elektrisirmaschine auf die Medaille überschlagen. Behauchte er nach Entfernung der Medaille die Platte, so war dieselbe bis in's feinste Detail auf der Glasplatte abgebildet.

Es werden also die flüchtigen Stoffe von der Oberfläche der Medaille unter dem Einfluss der Entladungen losgelöst und auf die Glasplatte übertragen, und daher entstehen diese elektrischen Hauchbilder auch auf mehreren sehr dünnen zwischen beiden Metallplatten aufgeschichteten Glasscheiben, nur sind sie viel schwächer als dort, wo die Medaille unmittelbar auf der Oberfläche des Glases aufliegt.

26. Die Wärmewirkungen.

Die Entladungen des Conductors einer Elektrisirmaschine, und in noch höherem Grade die Entladungen grosser Leydener Flaschen oder Batterien sind im Stande, leicht entzündliche Körper, wie Aether, Weingeist, Schwefel und Colophoniumpulver, in Baumwollballen eingestreut, zu entzünden. Je höher die Ladungsmenge einer geladenen Batterie von Leydener Flaschen steigt, umso kräftiger werden diese Wärmewirkungen, welche endlich bei ge-

Fig. 66.



nügender Höhe derselben im Stande ist, Drähte von Eisen, Folien von Gold und Platin nicht nur zu schmelzen und dabei durch die mechanische Wirkung zu zerstäuben, sondern sogar in Dampfform zu verwandeln.

Van Marum konnte mit seiner früher beschriebenen grossen Batterie (Fig. 42) einen mehrere Meter langen dünnen Eisendraht schmelzen, und das Verdampfen der Metalle in der hohen Temperatur, welche sich bei der Entladung grosser Leydener Flaschen oder Batterien entwickelt, kann leicht mit dem Henley'schen Entlader (Fig. 66) nachgewiesen werden.

Zwei Metalldrähte lassen sich in federnden Messinghülsen verschieben, und diese um eine horizontale und verticale Axe drehbar auf den durch Glasstäbe isolirten Messinghülsen befestigen. Vorn enden sie mit Kugeln, hinten mit Ringen für die Zuleitungen. Die Kugeln lassen sich gegen eine Glasplatte auf isolirtem Tischchen beliebig neigen und so nähern, dass sie die zwei Enden eines dünnen Streifens von Gold-, Silber- oder Platinfolie berühren, welche zwischen zwei Spiegelplatten eingelegt worden. Diese können bei hinreichend grossen Flaschen 5 bis 6 Cm. lang genommen werden.

Nach der Entladung findet man die Folie zerrissen und theilweise verschwunden; der entstandene Metalldampf condensirt sich an der spiegelnden Glasfläche und setzt sich bei Goldfolien theils als Goldspiegel, theils als amorphes Gold, als Goldpurpur ab.

Ein eingehendes Studium der Wärmewirkungen elektrischer Entladungen, des Entladungsstromes, verdanken wir Riess. Er benutzte dazu das nach ihm benannte Riess'sche elektrische Thermometer.

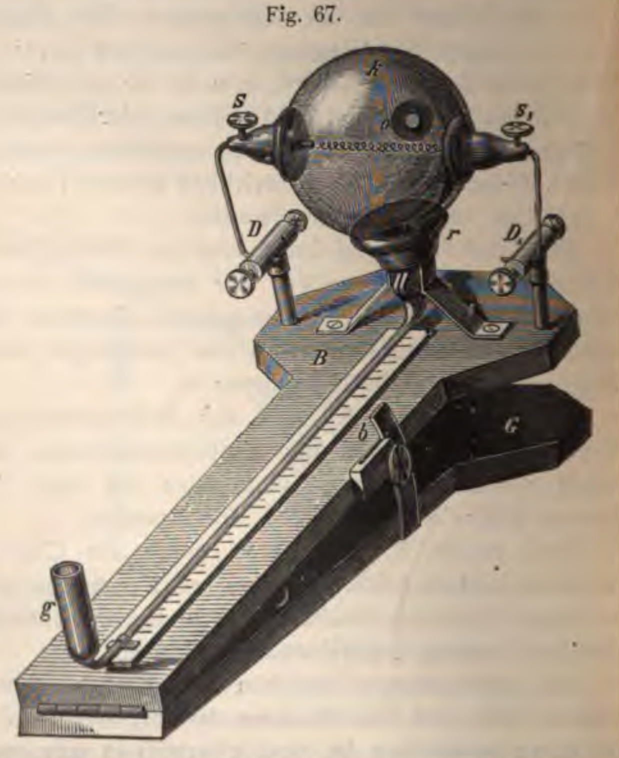
Zwei polirte Brettchen sind durch ein Charnier verbunden, und ein seitlich angebrachter Kreisbogen lässt die beiden Brettchen mittelst Druckschraube in bekannter beliebiger Neigung gegeneinander einstellen.

Das obere geneigte Brettchen trägt eine auf Metall getheilte Scala und das Thermometerrohr, welches oben und unten umgebogen ist und einerseits in eine angeblasene Kugel endet, andererseits in eine breite offene, nur etwa 3 bis 4 Cm. lange Röhre, welche mit rothgefärbtem Olivenöl gefüllt wird.

Die Kugel ist mit einem kurzen angeblasenen Hals versehen, welcher mit einem konischen, eingeschliffenen Stöpsel

luftdicht geschlossen werden kann. Durch passendes Oeffnen des Stöpsels und Neigen des Brettchens kann man in die Capillarröhre des Thermometers Flüssigkeit aus dem

Fig. 67.



breiten offenen Endrohre treten lassen, worauf der Stöpsel wieder luftdicht aufgesetzt wird. In die Kugel führen noch zwei weitere Oeffnungen in senkrechter Richtung zu dem Halse mit Stöpsel, durch welche eine Spirale aus feinem Platindraht von 0·2 Mm. Dicke eingeführt wird.

e Enden werden in luftdicht aufgekitteten Messing-
ılchen leitend befestigt, welche mit den beiden Belegen
r geladenen Batterie durch Zuleitungsdrähte oder durch
: Auslader in Verbindung gebracht werden.

Riess nahm Leydener Flaschen, deren Oberfläche
5 Quadratfuss betrug und bei allen ganz genau gleich
nommen war.

Eine Lane'sche Massflasche mit Mikrometer-Vor-
htung (Fig. 53) hatte 2 Mm. Abstand zwischen der
ıgel der Flasche und jener des Entladers.

Bei der Entladung, welche durch die Platinspirale
führt wurde, erhitzte sich dieselbe, übertrug diese
'ärme rasch auf die umgebende Luft in der Kugel des
ıftthermometers, und die Säule der in das Capillarrohr
ıgetretenen Flüssigkeit wurde zurückgetrieben. Die
npfindlichkeit lässt sich durch verschiedene Neigung
:r Capillarröhre vergrössern oder nach Bedarf auch
rmindern.

Aus der Aenderung des Volums der eingeschlossenen
uft kann nun auf die Erwärmung derselben geschlossen
erden.

Riess fand, dass die Formel:

$$d = c \frac{E^2}{n}$$

e Beobachtungsresultate sehr genau darstellte. Hierbei
t d die beobachtete Verschiebung der Flüssigkeit im
apillarrohre, c eine Constante, welche in den Ver-
ıchen von Riess 0·88 war, E die Ladungsmenge,
die Flaschenzahl.

Die Ladung wurde durch die Zahl der Funken,
elche in einer bestimmten Zeit an dem Funkenmikro-
ıeter (Fig. 53) übersprangen, gemessen.

Zahl der Funken am Funken-mikrometer	Zahl der Leydener Flaschen									
	2 Flaschen		3 Flaschen		4 Flaschen		5 Flaschen		6 Flaschen	
	beob.	berech.	beob.	berech.	beob	berech.	beob.	berech.	beob.	berech.
4	6·7	7·0	4·5	4·7	3·2	3·5	3·0	2·8	2·6	2·3
5	9·3	11·0	7·0	7·3	5·2	5·5	4·5	4·4	3·8	3·7
6	13·4	15·8	9·7	10·6	7·3	7·9	6·5	6·3	5·5	5·3
10	—	—	—	—	—	—	16·7	17·6	14·3	14·7

Es ergiebt sich auch hieraus, dass die durch den Entladungsstrom entwickelte Wärmemenge dem Quadrate der Elektricitätsmenge, und verkehrt der Zahl der geladenen Leydener Flaschen proportional ist.

Diese Formel lässt sich auch schreiben:

$$d = c \left(\frac{E}{n}\right) E.$$

Den Quotienten der Elektricitätsmenge durch die Zahl der geladenen gleich grossen Flaschen nennt man die elektrische Dichte, und man kann daher das Riess-sche Gesetz auch so aussprechen:

Die entwickelte Wärmemenge steht im Verhältnisse des Products der Ladungsmenge und Ladungsdichte.

Da nun früher gezeigt worden, dass die Ladungsdichte proportional ist dem Potentiale des Beleges eines Condensators, so ist offenbar die Wärmemenge auch proportional dem Producte der Elektricitätsmenge und der Potentialdifferenz der Belege am Condensator.

Die Tafel zeigt, dass die Beobachtungsresultate für grössere Flaschenzahlen besser stimmen, was daher rührt, dass die Ladungsdichten geringer werden, und daher auch die Verluste durch unvollkommene Isolation und durch Zerstreuung.

Sind die Flaschen nicht zur Batterie, d. h. mit gleichnamigen Belegen in Verbindung, sondern in Cascade,

d. h. sind sie, mit ungleichnamigen Belegen verbunden, geladen worden, so fand Riess die empirische Formel der Wärmewirkung:

$$d = c\,E^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n_1}\right)$$

worin n und n_1 die Flaschenzahlen zweier Batterien bedeuten, welche aus lauter Flaschen gleicher Capacität gebildet sind.

Die inneren Belege der Batterie von n Flaschen standen mit dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung, die äusseren Belege standen durch einen Leitungsdraht mit den inneren Belegen der zweiten Batterie von n_1 Flaschen in Verbindung, während ihre äusseren Belege zur Erde abgeleitet waren.

Flaschenzahl der ersten Batterie	Flaschenzahl der zweiten Batterie	d beobachtet	d berechnet
1	1	1·00	1·00
2	1	0·76	0·75
3	1	0·69	0·67
4	1	0·66	0·63
1	1	1·00	1·00
1	2	0·78	0·75
1	3	0·72	0·67
1	4	0·68	0·63

Das Gesetz besteht also auch für diese Flaschencombination, wie bei der einzelnen Flasche oder Batterieverbindung, und die Wärme-Entwicklung kann gedacht werden als die Summe der Wirkungen der einzelnen Batterien:

$$d = \frac{c\,E^2}{n} + \frac{c\,E^2}{n_1}.$$

Bestehen daher beide Batterien aus Flaschen gleicher Capacität und werden sie bis zu ihrer Grenze geladen, so ist:

$$d = \frac{2\,c\,E^2}{n};$$

diesen Werth der Wärme-Entwicklung kann man aber auch schreiben:

$$d = \frac{2\,E}{n} \times E\,c,$$

d. h. sie wirken so, dass die Ladungsdichte die doppelte ist, als jeder einzelnen, und ihre Gesammtwirkung ist das Doppelte der einzelnen Batterie.

Da die Ladungsflächen in den vorstehenden Versuchen sehr gross waren, so beeinflussten sie die Resultate sehr wenig. Schaltete aber Riess nebst dem Platindrahte im elektrischen Thermometer noch einen zweiten Platindraht ein, so wurde die Wärme-Entwicklung im Thermometer wesentlich modificirt.

Schon Harris zeigte, dass die Wärme-Entwicklung im umgekehrten Verhältniss der Länge des Schliessungskreises einer Batterie stehe, welche er stets bis zum Maximum lud, ehe sie entladen wurde.

Erst Riess hat jedoch durch umfassende Versuche die Abhängigkeit der Wärme-Entwicklung von der Beschaffenheit des Schliessungskreises vollständig klargestellt. Zuerst nahm er zwei gleich dicke Platindrähte, den einen in der Thermometerkugel, den andern aussen im Schliessungskreise, die Summe der Widerstände beider Drähte war also constant, und die obige Formel von Riess zeigte, dass bei der Maximalladung einer und derselben Batterie, der Werth von c aus der Formel:

$$c = \frac{d\,n}{E^2}$$

gerechnet, ebenfalls constant blieb.

Riess fand die entwickelte Wärmemenge der Länge der Drähte proportional und verkehrt dem Querschnitte der Leitungsdrähte. Sind diese cylindrisch, also von kreisförmigem Querschnitte, so müssen die obigen Constanten bei Entladung derselben zum Maximum der geladenen Flaschenbatterie sich verhalten, wie folgt:

$$\frac{c}{c_1} = \frac{l}{l_1}\,\frac{r_1^{\,2}}{r^2},$$

wo die Längen der verglichenen Drähte mit l und l_1, ihre halben Dicken mit r und r_1 bezeichnet sind.

Der Versuch ergab nach Riess: $\frac{c}{c_1} = 4{\cdot}20$; die Rechnung nach obiger Formel ergab aber:

$$\frac{c}{c_1} = 3{\cdot}38,$$

also nur wenig kleiner, als der Versuch selbst. Riess erklärt diese nicht vollständige Uebereinstimmung dadurch, dass im zweiten Versuche der Draht viel dicker war, und daher die Wärme desselben an die Luft in der Thermometerkugel viel langsamer übertragen wurde, als beim ersteren, und der Einfluss der Fortleitung der Wärme durch die Glaswände der Kugel, sowie der Verluste durch Strahlung viel grösser im zweiten Falle, als im ersten wurde. Es unterscheidet sich also die Abhängigkeit der Erwärmung vom Leitungswiderstande bei dem Entladungsstrom der Spannungselektricität nicht von den Gesetzen, die Lenz für den Fall continuirlicher, z. B. galvanischer Ströme gefunden.

Endlich hatte Riess bei derselben Platindrahtspirale im Thermometer verschiedene Leitungsdrähte in den Schliessungskreis gebracht und die dabei stattfindende Erwärmung gemessen. Er nahm einen mehrere hundert Fuss langen Draht, der in Stücken verschiedener Länge in den Schliessungskreis zugleich mit der Platinspirale des Thermometers gebracht werden konnte.

Ist l die äquivalente Länge des Kupferdrahtes, welche denselben Widerstand und daher denselben Wärmeeffect hervorbringen würde, wie die Platinspirale und der Widerstand in der Batterie der Leydener Flaschen zusammengenommen, l_1 der Widerstand des hinzugefügten Kupferdrahtes, so kann man sich die entwickelte Wärmemenge in zwei Theile zerlegt denken, und zwar nach Massgabe ihrer gegenseitigen Widerstände.

Der erstere wird also entsprechen dem Antheile:

$$\frac{l}{l+l_1},$$

der letztere dem Antheile: $\frac{l_1}{l+l_1}$.

Da nun der Widerstand des Thermometers constant und gegen den Theil des Widerstandes in der Batterie selbst sehr gross ist, so kann man seine Grösse:

$$\frac{l}{l+l_1}$$

allein gleich setzen, und die Erwärmung wird nach Obigem durch den Ausdruck:

$$d = c\frac{l}{1+\alpha l_1}$$

dargestellt. Hierin ist c die Erwärmung, welche dem constanten Widerstande bei dem Versuche entspricht, und α eine andere noch zu bestimmende Constante. Da

nun d, c und l sich messen lassen, so kann man die zweite Constante durch den Versuch bestimmen.

Die folgende Versuchsreihe giebt den Werth der Constante:

$$\alpha = \left(\frac{c}{d} - 1\right) \frac{l}{l_1}$$

für verschiedene Drahtlängen, welche in den Schliessungskreis eingeschaltet wurden.

Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes	Erwärmung des Thermometers (d)	Berechnete Erwärmung	Constante α
9·6 Fuss	0·69	0·693	0·0136
49·4 „	0·48	0·476	0·0127
98·0 „	0·34	0·342	0·0131
147·6 „	0·27	0·267	0·0128
246·4 „	0·21	0·186	0·0110

Dieselbe Formel lässt sich bei verschiedenem Drahtmaterial anwenden, um den Einfluss desselben, sowie des Drahtdurchmessers messend zu bestimmen. Es lässt sich zeigen, dass bei demselben Material, z. B. Platin, die Erwärmung dem Querschnitt umgekehrt proportional ist; die Formel erhält dann die Form:

$$d = \frac{c}{1 + \frac{\alpha_1 l_1}{r^2}},$$

wo α' eine neue Constante und r den Halbmesser des Drahtes bedeutet. Hieraus folgt, dass der Ausdruck:

$$\alpha_1 = \left(\frac{c}{d} - 1\right) \frac{r^2}{l_1},$$

im Falle dieses Gesetz stattfindet, für Drähte verschiedenen Durchmessers, aber vom selben Material, einen constanten Werth zeigen muss.

Es wurden dem Versuche Platindrähte unter verschiedener Länge und Durchmessers, wie die fol Tafel zeigt:

Durchmesser in Linien	Länge l_4 Fuss	Erwärmung des Thermometers beobachtet	berechnet	Con
0·524	144	1·23	1·223	0·000
0·153	144	1·11	1·108	0·000
0·117	100	1·06	1·069	0·000
0·100	144	0·91	0·893	0·000
0·079	84	0·92	0·915	0·000
0·065	17	1·18	1·181	0·000

Der verschiedene Widerstand der Metalle läss ebenfalls durch einfache Versuche mit dem Riess' Thermometer aus der Erwärmung nachweisen.

Die obigen Versuche haben gezeigt, dass der W stand der Drähte aus einem Materiale der Lä direct und dem Querschnitte q verkehrt proportiona

Für ein Metall, dessen Widerstand als Ausgangsp der Messung genommen wird, ist der Widerstand gleich der Einheit zu setzen, wenn seine Länge der Lä einheit und sein Querschnitt der Flächeneinheit entsp heisst derselbe c, so ist

$$c = \frac{l}{s} = 1.$$

Für jedes andere Metall wird er ein anderer sein, wen Draht die Einheit der Länge und des Querschnittes hat,

$$c_1 = \frac{l_1}{s_1};$$

sonach wird ihr Verhältniss:

$$\frac{c}{c_1} = \gamma,$$

as auf jenes erstere bezogene Leitungsvermögen des ndern Metalles bezeichnen, und für eine beliebige Länge nd Querschnitt wird der Widerstand eines Drahtes aus iesem Metalle ausgedrückt durch:

$$W = \gamma \frac{l}{s}.$$

nd nun die Widerstände verschiedener im Schliessungs-eise enthaltener Metalldrähte:

$$w_1 = \frac{\gamma_1 l_1}{s_1},\ w_2 = \frac{\gamma_2 l_2}{s_2},\ w_3 = \frac{\gamma_3 l_3}{s_3} \text{ u. s. w.,}$$

rner die Erwärmungen im ganzen Schliessungsleiter: d_1, , d_3 u. s. w., so werden diese sein:

$$d_1 = \frac{\frac{\gamma_1 l_1}{s_1}}{\frac{\gamma_1 l_1}{s_1} + \frac{\gamma_2 l_2}{s_2} + \frac{\gamma_3 l_3}{s_3} + \ldots}$$

benso: $$d_2 = \frac{\frac{\gamma_2 l_2}{s_2}}{\frac{\gamma_1 l_1}{s_1} + \frac{\gamma_2 l_2}{s_2} + \frac{\gamma_3 l_3}{s_3} + \ldots} \text{ u. s. w.}$$

Nimmt man den einfachsten Fall an, dass nur ein Draht in den Schliessungsleiter eingeschaltet ist, so wird:

$$d_1 = \frac{a}{1 + \alpha_1 l_1} = \frac{a}{1 + \alpha_1 \frac{l}{cs}}$$

Riess erhielt so, da l und s gegeben, die Constante α_1 bereits früher gemessen war oder am Thermometer bestimmt wurde, die Constante des Leitungswiderstandes c für verschiedene Metalle.

Metalle	Specifischer Leitungswiderstand
Silber	0·1045
Kupfer	0·1552
Gold	0·1746
Cadmium	0·4047
Messing	0·5602
Palladium	0·8535
Eisen	0·8789
Platin	1·0000
Zinn	1·0530
Nickel	1·1800
Blei	1·5030
Neusilber	1·7520

Riess bestimmte auch den Widerstand gegen d
Schmelzen von Drähten gleicher Länge und gleich
Querschnittes aus verschiedenen Metallen, wie die folgen
Tafel zeigt:

Metalle	Schmelzungswiderstand	Schmelzpunkt
Kupfer	4·893	1110° C.
Silber	3·946	1000 „
Gold	2·960	1250 „
Eisen	1·059	1500 „
Platin	1·000	2000 „
Nickel	0·916	1600 „
Cadmium	0·310	360 „
Zinn	0·072	228 „
Blei	0·068	335 „

Es folgt hieraus, dass für Drähte gleicher Län
welche durch dieselbe Entladung geschmolzen werd
sollen, sich die Querschnitte wie die Wurzeln aus d
Zahlen in der ersten Columne verhalten müssen.

Sollen gleich lange Platin- und Kupferdrähte geschmolzen werden, so müssten sich ihre Querschnitte verhalten wie:

$$1 : \sqrt{4{\cdot}893} = 1 : 2{\cdot}212,$$

und daher ihre Durchmesser, wie folgt:

$$d : d_1 = 1 : \sqrt{2{\cdot}212} = 1 : 1{\cdot}487.$$

Die hohe, durch den Entladungsstrom erzeugte Temperatur hat vielfache Anwendungen in der Technik gefunden, namentlich zu Sprengversuchen, indem entweder die hohe Temperatur des Entladungsfunkens selbst oder das Glühen eines äusserst dünnen Leiters von grossem Leitungswiderstande zum Entzünden explosiver Stoffe: des Pulvers, Dynamits u. s. w., angewendet wurde.

Fig. 68.

Die erste derartige Verwendung war wohl zu Endiometer-Versuchen von Cavendish (1784). Er entzündete in einem geschlossenen starkwandigen Glasgefässe ein Gemenge von 100 Volumen atmosphärischer Luft und 42·3 Volumen Wasserstoffgas durch den elektrischen Funken; das Gefäss bedeckte sich innen mit Thautröpfchen, und das Volum des rückständigen Gases betrug 80 Volumtheile. Später wurde das Volta-sche Endiometer für im Wasser unlösliche Gase, sowie das Gay-Lussac'sche mit Quecksilber als Sperrflüssigkeit häufig zu Gasanalysen, namentlich der Luft, benutzt, um ihren Sauerstoffgehalt zu messen, daher auch der Name des Apparates.

Volta's elektrische Pistole ist ein ähnlicher Apparat, besteht aus einem in der Hand gehaltenen kleinen Metallgefäss mit engem Halse, der mit einem Kork fest verschliessbar ist; durch die Seitenwand geht eine isolirende, luftdicht eingekittete Glasröhre, in welche ein Metalldraht, der beiderseits in kleine Kugeln endet und beinahe bis zur gegenüberstehenden Wand geführt ist, mit Schellack eingekittet worden.

Berührt man mit der äusseren Kugel den Knopf des geladenen Conductors einer Elektrisirmaschine, oder entladet man eine Leydener Flasche durch den Draht und die Metallwand, so überspringt ein Funken im Innern des mit Knallgas gefüllten Gefässes, und es entsteht eine den Kork herausschleudernde Explosion. Man mischt gewöhnlich 1 Volum Wasserstoffgas mit 2 Volumen atmosphärischer Luft, um das explosible Gasgemisch herzustellen.

Fig. 69.



Der elektrische Mörser, aus Holz oder Elfenbein hergestellt, hat zwei Zuleitungsdrähte, der eine endet mit einem Ring, von dem die Leitung zur Erde oder zum äusseren Belege einer Leydener Flasche geleitet wird, der andere mit einer Kugel, welche durch den Handauslader mit dem inneren Belege derselben in Verbindung gesetzt wird.

Fig. 70.

Der zwischen den beiden Enden des Drahtes im Innern überspringende Funke wirkt auf die atmosphärische Luft, welche durch die Kugel abgeschlossen

ist, theils durch den Stoss der Explosion, theils durch die plötzliche Erwärmung so heftig ein, dass die Kugel herausgeschleudert wird.

Ist ein Glasrohr mit Korken, durch welche Zuleitungsdrähte gesteckt sind, fest verschlossen und mit Wasser gefüllt, und wird ein kräftiger Entladungsfunke durch dieselben geleitet, so wird theils durch den Stoss, der von der incompressiblen Flüssigkeit sich auf die Wände überträgt, theils durch die plötzliche Erwärmung und Ausdehnung der Flüssigkeit das Rohr gesprengt.

Die elektrische Sprengung ist eine der wichtigsten Anwendungen der Spannungselektricität und bedingt einen wesentlichen Fortschritt der Sprengtechnik, indem es möglich wird, mehrere Minenöfen, welche in passender Lage um das zu sprengende Object herum angelegt worden, im selben Momente zur Explosion zu bringen.

Dadurch wird aber erstens eine bedeutende Ersparniss an Sprengmaterial, bis 12 Procent, und zugleich wesentliche Kostenverminderung bei der Schuttabräumung erzielt, da das gesprengte Felsmaterial eine durch passende Anlage der Minenöfen bedeutend vollkommenere Zerkleinerung erfährt, also leichter abgeräumt wird.

Ein ebenso schwerwiegender Vortheil ist es jedoch, dass man der Axe des Sprengtrichters jede beliebige Richtung und Neigung ertheilen und so im vorhinein das gesprengte Material dahin leiten kann, wo es entweder liegen bleibt, oder wo es doch weniger im Wege steht und leichter fortgeräumt werden kann. Bei Sprengungen an Meeresufern in England zur Anlage von Eisenbahndämmen im Meere selbst wurde die Sprengung so geleitet, dass die Sprengrichtung das Material in das Meer warf und so ein Theil der Aufschüttungs-

arbeit für den Eisenbahndamm durch die Explosi
gethan wurde.

Für militärische Zwecke zur Sprengung vo
und Seeminen, sowie zur gleichzeitigen Abfeuer
Geschützen und Torpedos wurden eigens co
elektrische Spreng-Apparate seit Langem in An
gebracht.

Die Zünder sind, wie erwähnt, entweder zum
durch das Ueberspringen eines Funkens, als so
Spaltzünder, oder zum Zünden durch Glühen
Drähte, als Glühzünder eingerichtet.

Der Spaltzünder ist bei der Anwendung de
nungselektricität derjenige, der allein gut anwen
denn die Verluste auf langen Leitlinien, namen
gleichzeitiger Sprengung mehrere Minenöfen, sind
deutend und können kaum durch irgend eine Isc
weise der Leitungsdrähte vermieden werden.

Sie empfehlen sich daher hauptsächlich bei Sp
einer einzigen Mine oder bei der Sprengung ei
beschränkten Zahl derselben und auf kurze Di
damit keine allzu langen Leitungen erforderlich s

Ein Pfropf aus gut isolirendem Material, S
Paraffin, Guttapercha oder Kautschuk, dient zur Is
der beiden Drahtenden, welche mit ihren umge
Enden bis auf einen Bruchtheil eines Millimeters g

leicht durch Stoss und Reibung und darf daher niemals in einer Reibschale gemischt und gerieben werden. Die Mischung muss so innig sein, dass nicht mehr einzelne Theilchen der beiden Bestandtheile unterschieden werden können, und das chlorsaure Kali muss vor dem Zerreiben scharf getrocknet werden.

Schmale Holzstäbchen, mit Wachs oder Paraffin getränkt, um der hygroskopischen Eigenschaft des Holzes entgegenzuwirken, haben eine Nuth an entgegenstehenden Seiten, in welche die Drähte gelegt und mit Bindfaden festgebunden werden. Die oben überstehenden Drahtenden werden durch eine Bohrung im Stäbchen durchgezogen, indem man sie rechtwinkelig biegt und nur einen Abstand von 0·2 bis 0·1 Mm. übrig lässt.

Dieses Stäbchen wird in die paraffinirte Papierhülse befestigt und darin so mit Wachs und Paraffin umgossen, dass nur die umgebogenen Drahtenden auf einige Millimeter Länge in die in der Patrone eingefüllte Masse des Zündsatzes hineinragen.

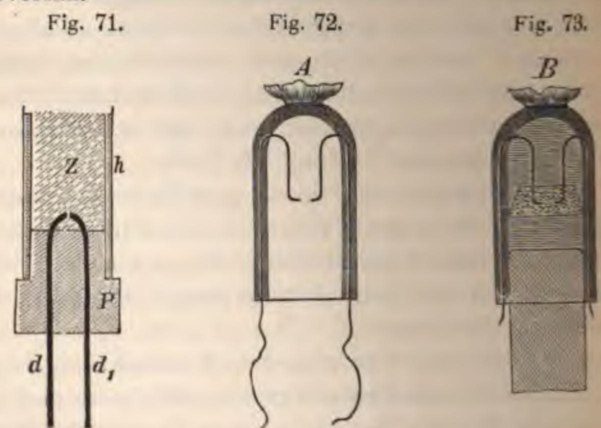
Diese Sprengpatrone wird dann bis oben hinauf mit Pulver oder Schiessbaumwolle gefüllt, geschlossen und mit Wachs oder Paraffin überstrichen, um die Einwirkung der atmosphärischen Feuchtigkeit beiseite zu halten.

Für Bohrlöcher in Felsen bringt man zur Raumersparniss das Holzklötzchen mit den getrennt stehenden Leitungsdrähten zwischen zwei Pappscheiben, wodurch an Raum sehr gespart wird, und ist der Zünder in den tiefsten Theil, und zwar zu unterst in's Bohrloch einzuführen, weil die Wirkung dadurch, dass die Zündung von hinten und von unten erfolgt, wesentlich besser wird.

Baron Ebner wendete als Sprengpatrone zur Entzündung der Minenöfen eigenthümlich hergestellte Papier-

hülsen aus Schöpfpapier von 1 Zoll Höhe, von ½ Zo
innerem Durchmesser im Lichten und etwa 1 Lini
Wandstärke an. Mit einer Ahle werden Canäle in di
dicken Seitenwände der Patrone gestochen und der Dra
durchgezogen, vorn in eine Schlinge von etwa 5 Linie
Höhe gebogen, welche in der Mitte durchschnitte
wurde, nachdem man sie zur Befestigung mit Harz um
gossen, so dass nur das scharfgebogene Schlingenend
hervorsah.

Fig. 71. Fig. 72. Fig. 73.



Die Drahtenden dürfen höchstens 0·2, Linien vonein
ander abstehen, und werden mit dem explosiblen Zündsat
umgeben in der Höhe von etwa 2 Linien. Hierauf wir
derselbe glatt gestrichen, ein sehr dünnes kreisrund
Pappscheibchen von genau passendem Durchmess
darauf gelegt, der übrige Theil mit Pulver oder Schies
baumwolle nachgefüllt und mit einem ebensolchen krei
förmigen Pappscheibchen bedeckt.

Ein weicher, genau passender, an den Rändern m
Leim bestrichener Kork wird hierauf in die Röhre san

eingedrückt und schliesst so die Zündpatrone hermetisch ab. Die aus der Patronenwand hervortretenden Drähte werden mit Leinwand, welche mit Leim bestrichen wurde an den Kork befestigt.

Statt des Varentrapp'schen Satzes wird in neuerer Zeit eine kleine Quantität von Knallquecksilber mit Gummischleim zu Teig angemacht, zwischen die beiden Drahtenden gestrichen und mit Pulver u. s. w. umschüttet. Diese Zündpatronen sind noch empfindlicher, als die mit Varentrapp'schem Satz.

Einer der besten Glühzünder und vielfach zu elektrischen Sprengungen in England angewendet, ist der Statham'sche Zünder. Eine Röhre von 4 Zoll Länge und Durchmesser im Lichten von 1 Linie, aus vulcanisirtem Guttapercha umschliesst einen Draht aus reinem Kupfer von 1 Linie Durchmesser. Das Guttapercha wurde durch Erwärmen erweicht und teigartig mit Schwefelblumen und Schwefelkupfer innig durch Kneten verbunden. Der Draht bekleidet sich dann mit einer dünnen Lage von Schwefelkupfer, welche an dem so vulcanisirten Guttapercha haften bleibt, wenn der Draht durch halbseitiges Aufspalten der Röhre und Durchschneiden derselben die in der Figur angedeutete Form erhalten. Der Funke findet so eine besser als Luft leitende, sehr dünne Schichte Schwefelkupfer zwischen beiden Enden des getrennten Drahtes vor, so dass die Zündung auch bei schwächeren Ladungen eine sehr sichere wird.

Zwischen die Trennungsstelle wird entweder die Varentrapp'sche Zündmasse oder besser noch eine kleine Quantität Knallquecksilber gebracht, und die Höhlung $h\,h_1$ mit Zündmasse nachgefüllt, oder auch mit fein zerriebenem Pulver, wenn Knallquecksilber angewendet worden, hieraus

mit dieser an die Eisenplatte, welche den Boden d
Kastens bildet, festgeschraubt.

Eine Stahlspitze, nahe der Scheibe, oder bei Dopp
Scheibenmaschinen zwischen diesen eingesetzt, leitet d



Fig. 75.

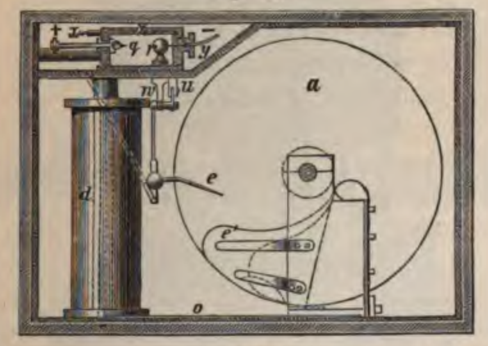


entwickelte Elektricität zu der Leydener Flasche,
zwar zum inneren Knopfe derselben.

Ein messingener Haken *h* steht mit dem Arm
in Verbindung, der durch eine Feder *f* in seiner L

en wird. Dreht man aber die isolirte äussere Hand-
so kommt der Knopf k am Arme a in Berührung
em Knopfe K_1 an der Flasche. Ein Häkchen h_1
durch Drahtleitung zum negativen Belege der Flasche,
läkchen h aber ist leitend mit dem inneren Belege
nden, sobald sich die Kugeln k und k_1 berühren.
o bei h und h_1 der Leitungsdraht des Minenzünders
längt, so geht bei der Berührung beider Knöpfe
ntladung durch denselben hindurch.

Fig. 76.

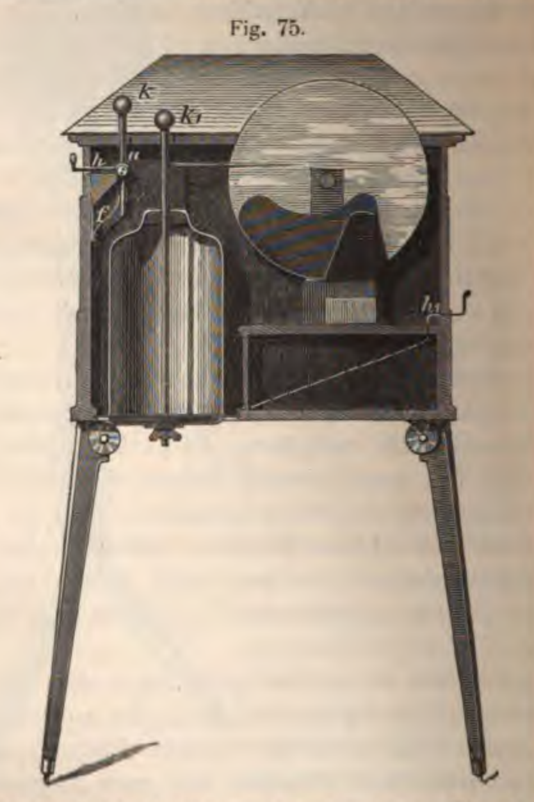


Der ganze Apparat ist leicht transportabel, bei Glas-
enmaschinen mit Heizvorrichtung versehen, und
auf ein Untergestell aus Holz mit 4 Füssen fest auf-
lt werden. Die Schlagweite ist bei guter Wirkung
en den Knöpfen k und k_1 bis $1^1/_2$ Zoll. Die gebrech-
Leydener Flasche wurde bei den Zündmaschinen
wei Hartgummischeiben (Fig. 75) durch zwei
mengerollte, mit Stanniol belegte, nicht vulcanisirte
ischeiben ersetzt. Eine Oberfläche von 1800 Quadrat-
eter der beiden Condensatoren genügt, um bis 5 Cm.
Funken zu erhalten, und kann auf 700 Meter

mit dieser an die Eisenplatte, welche den Boden d
Kastens bildet, festgeschraubt.

Eine Stahlspitze, nahe der Scheibe, oder bei Dopp
Scheibenmaschinen zwischen diesen eingesetzt, leitet

Fig. 75.

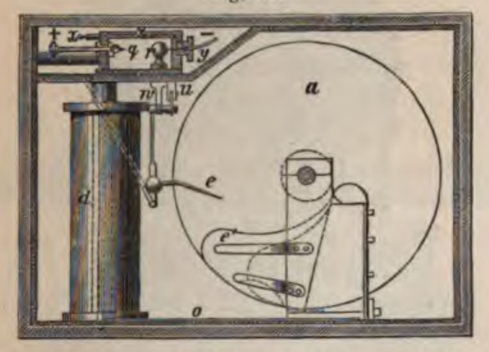


entwickelte Elektricität zu der Leydener Flasche,
zwar zum inneren Knopfe derselben.

Ein messingener Haken *h* steht mit dem Ar
in Verbindung, der durch eine Feder *f* in seiner

en wird. Dreht man aber die isolirte äussere Hand-
so kommt der Knopf k am Arme a in Berührung
em Knopfe K_1 an der Flasche. Ein Häkchen h_1
lurch Drahtleitung zum negativen Belege der Flasche,
läkchen h aber ist leitend mit dem inneren Belege
nden, sobald sich die Kugeln k und k_1 berühren.
o bei h und h_1 der Leitungsdraht des Minenzünders
längt, so geht bei der Berührung beider Knöpfe
ntladung durch denselben hindurch.

Fig. 76.



Der ganze Apparat ist leicht transportabel, bei Glas-
enmaschinen mit Heizvorrichtung versehen, und
auf ein Untergestell aus Holz mit 4 Füssen fest auf-
lt werden. Die Schlagweite ist bei guter Wirkung
ıen den Knöpfen k und k_1 bis $1^1/_2$ Zoll. Die gebrech-
Leydener Flasche wurde bei den Zündmaschinen
wei Hartgummischeiben (Fig. 75) durch zwei
mengerollte, mit Stanniol belegte, nicht vulcanisirte
nischeiben ersetzt. Eine Oberfläche von 1800 Quadrat-
ıeter der beiden Condensatoren genügt, um bis 5 Cm.
Funken zu erhalten, und kann auf 700 Meter

Entfernung eine beliebige Anzahl von Minenöfen (
gleichzeitig entzündet werden. Etwa 30 Umdr
der aus dem Gehäuse hervorragenden Axe mit de
angesteckten Kurbel genügen stets zur Ladung de
Condensatoren.

Die Influenz-Zündmaschinen sind aus dem
weniger geeignet, weil sie mehr Raum einnehm

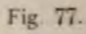


Fig. 77.

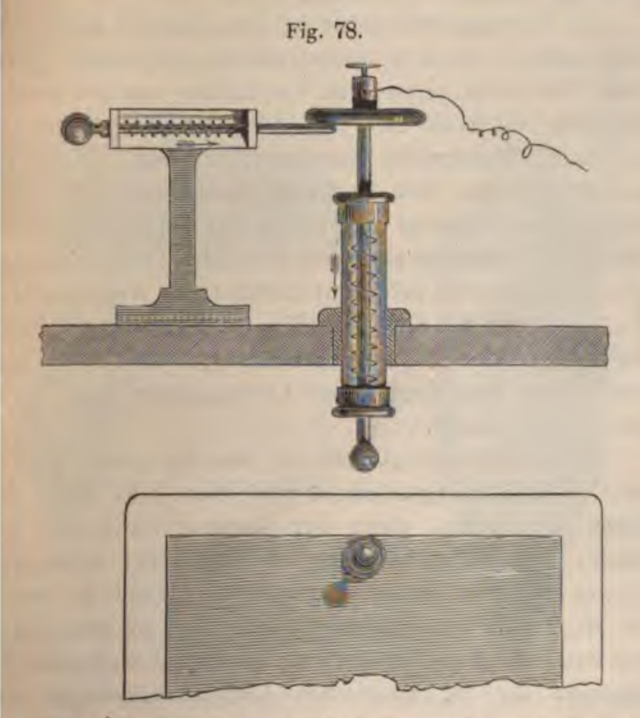


die obenerwähnten und auch nicht sicherer bei
Luft functioniren.

Der Influenz-Sprengapparat von Zenger hält c

Die Saugarme führen zu den zwei streifenden lättchen, welche die inducirte Elektricität sammeln, nd mittelst Guttaperchadrähten zu den Belegen einer der zweier horizontal eingelegter Hartgummischeiben ihren, die in letzterem Falle in Cascade verbunden sind.

Fig. 78.



Eine dünne Hartgummischeibe steht zwischen der lurch Reibung elektrisirten Scheibe und der influenzirten nd hat ein kleineres Beleg aus gefirnisstem Papier mit pitzem Ende zum Ansaugen der Elektricität. Der übrige Theil des Beleges besteht aus Zinnfolie, und sind diese

Belege auf der der elektrisirten Scheibe zugewendeten Seite angebracht.

Dadurch wird derselbe Effect erzielt, als ob die influenzirende Scheibe durch eine viel dünnere Luftschicht von der influenzirten getrennt wäre, also die Wirkung wesentlich verstärkt.

Ein Leitungsdraht führt zu dem äusseren Belege des Condensators einerseits, andererseits zu der eingehängten, durch eine Feder gespannten Vorrichtung von den beiden Säulchen, durch die zwei Stahldrähte mit Kügelchen und isolirenden Handgriffen durchgesteckt sind, welche als Auslader dienen. Ihre Entfernung bestimmt die Grösse der Schlagweite der zu entladenden Franklin'schen Tafel, die bis zu 26 Mm. bei einer nur 10zölligen Scheibe beträgt, und in 10 Secunden bei jedem Luftzustande erreichbar ist.

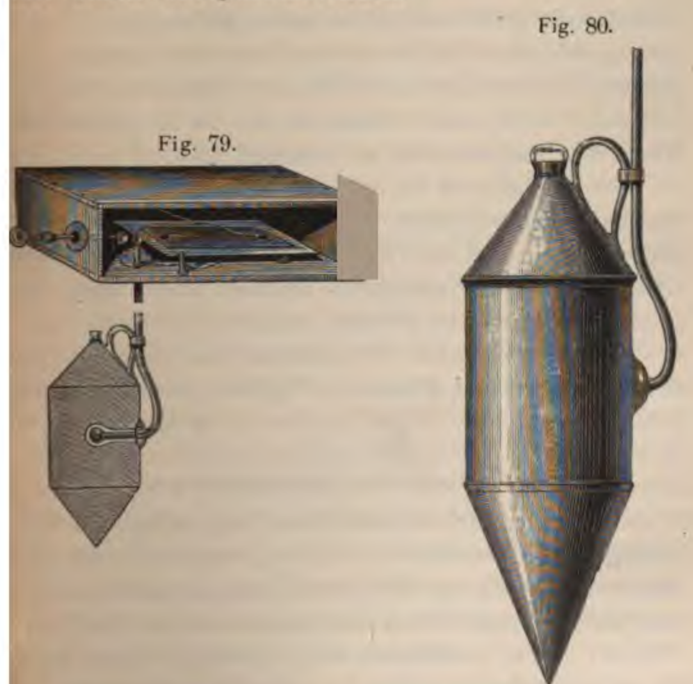
Lässt man den Schneller (Fig. 78) los, kommen beide entgegengesetzten Belege in Verbindung, und die Entladung geht durch den Knopf, den Leitungsdraht und Zünder zum andern Belege.

Ein leichter Holzkasten, an den der untere Kasten mit Condensator angeschraubt wird, dient blos dazu, den Regen abzuhalten, denn der Apparat functionirt bei nahezu jedem Feuchtigkeitsgrade der Luft, wenn nur directes Benässen durch Regentropfen vermieden wird. Die Menge der so erhaltenen Elektricität ist sehr gross, und kann daher bei etwa 15 bis 20 Mm. Schlagweite die Maschine für die elektrischen Lichterscheinungen mit Vortheil verwendet werden, da eine beinahe ununterbrochene Reihe elektrischer Funken von grossem Glanze sich entwickelt, wenn statt blos einer zwei bis vier Franklin'sche Tafeln in Cascadeverbindung angewendet werden.

Alle Wärme- und Lichtwirkungen, wozu sonst ein Ruhmkorff'sches Inductorium verwendet zu werden pflegt, können mit diesen Maschinen erhalten und selbst verhältnissmässig grosse Batterien Leydener Flaschen in sehr kurzer Zeit geladen werden.

Fig. 80.

Fig. 79.



Eine mit Ebonitplatten versehene nur 10zöllige Maschine ladet vier Leydener Flaschen, jede von etwa 100 Quadratzoll Oberfläche, so rasch, dass sehr glänzende Funkenentladungen bei Cascadeverbindung erhalten werden bis zu 20 Mm. Länge und in Intervallen von nur 5 Secunden einander folgen.

Solche Maschinen, an denen die inducirende, die inducirte Scheibe, die Scheibe der Reibungselektrisirmaschine, sowie die Condensatorplatte aus Hartgummi gefertigt sind, sind gegen die Einwirkung atmosphärischer Feuchtigkeit so wenig empfindlich, dass sie im geschlossenen Raume stets functioniren und beim Gebrauche obigen Spreng-Apparates im Freien nur einer ganz leichten Bedeckung mit einer nirgends berührenden Hülle aus getheerter Leinwand oder Leder bedürfen, um das Ansetzen von Thau oder Regentropfen zu verhindern.

Die Schlagweite ist sehr genau regulirbar, und im feuchten Wetter können auf die Entladerspitzen Kügelchen oder ein kleiner Teller, wie bei den Ruhmkorff-schen Inductorien, aufgesetzt werden, wenn man mit grossen Schlagweiten arbeiten will.

Fig. 79 zeigt das Arrangement einer Seemine mit Stathamzünder und Entlader, Fig. 80 jene von Rhumkorff für Seeminen.

26. Die elektrischen Lichterscheinungen.

Man unterscheidet zwei Arten der elektrischen Entladungen: die continuirliche und die intermittirende oder disruptive Entladung. Die Erscheinungen bei der ersteren sind hervorgebracht durch die Ausgleichung der Potentialdifferenz zweier elektrischer Körper, welche durch einen Leiter verbunden worden; die disruptive Entladung aber entsteht beim Ausgleiche der Potentialdifferenz zweier durch einen mehr minder gut isolirenden Körper getrennten entgegengesetzt elektrischen Körper.

Da der Uebergang von den Nichtleitern zu den Leitern ein allmählicher, nicht scharf abgegrenzter ist, so lässt sich auch eine scharfe Trennung beider Entladungs-

arten nicht durchführen, und häufig finden wir beide diese Entladungsarten gleichzeitig vor, sowie die von ihnen abhängigen Lichterscheinungen.

Doch giebt es Fälle, wo die eine dieser Entladungsarten vorwaltet. Da die continuirliche Entladung, ihre Erscheinungen und Gesetze bereits oben bei der Entladung der Leydener Flaschen besprochen worden, wollen wir hier zunächst die Lichterscheinungen bei disruptiver Entladung näher kennen lernen.

Die Gestalt, Dauer und Intensität der disruptiven Entladungen wurde von Wheatstone, Weber und am eingehendsten von Feddersen untersucht. Die Methode selbst rührt von Wheatstone her und besteht darin, die Entladungsfunken in einem mit grosser Geschwindigkeit gedrehten Spiegel zu betrachten.

Feddersen benutzte eine elektromagnetische Rotationsmaschine, welche von einem möglichst constant gehaltenen Strome in einer fast absolut gleichförmigen, sehr grossen Umdrehungsgeschwindigkeit erhalten wurde.

Dem an der Rotationsaxe befestigten Spiegel konnte eine gleichförmige Umdrehungsgeschwindigkeit von 10 bis 100 Umdrehungen in der Secunde ertheilt werden; und mittelst derselben elektromagnetischen Rotationsmaschine wurde auch die Funkenentladung in einem genau bestimmten Momente hervorgebracht.

Das durch die Rotation verlängert erscheinende Bild des Funkens, der sich in der Luft, also nach Faraday's Bezeichnung in disruptiver Entladung erzeugt, konnte auf eine Theilung projicirt werden, welche in passender Entfernung vom Spiegel aufgestellt wurde.

Statt eines gewöhnlichen Spiegels nahm später Feddersen einen Concavspiegel, der ein schärferes Bild

auf der getheilten Fläche entwarf. Diese war aus
collodionirten Spiegelglasplatte, wie sie in der Photog
angewendet werden, hergestellt.

Schaltet man in den Schliessungsbogen eine fe
Schnur oder eine Wassersäule ein, so wird die Entl
intermittirend aus einer Reihenfolge von Funken zusam
gesetzt erscheinen, die sich in Folge der Spiegelro
linear ausdehnen und durch scharf begrenzte d
Räume voneinander getrennt sind.

Je grösser der Widerstand des Isolators, durch d
disruptive Entladung erfolgt, desto grösser werde
dunklen Intervalle zwischen einzelnen Lichtlinien; je g
die Schlagweite derselben, desto kleiner werden die

Nimmt man statt der eingeschalteten Wasser
nach und nach bessere Leiter, angesäuertes Wasser, e
Säulen von Schwefelsäure, so nimmt die Dauer der L
erscheinung ab, und die Entladungsbilder nähern
immer mehr, und endlich geht die disruptive in
continuirliche Entladung über.

Eine Oscillation der Funkenbilder wird wahrge
men bei einer bestimmten Zunahme der Entladungsd
während der Widerstand vermindert wird.

Es entsteht dann ein Hin- und Hergehen der
ladung zwischen beiden Enden des Schliessungsl
und den beiden Kugeln des äusseren und inneren Be
einer sich entladenden Leydener Flasche.

Am nettesten erhält man die Erscheinung,
die beiden Polenden des Schliessungsleiters, z. B.
Kugeln am Ende, ganz mit Schellack überzogen
bis auf sehr kleine Flächenstückchen da, wo die K
oberflächen sich am nächsten stehen. Die Lichterschei
bei der Entladung zeigt dann die Gestalt in Fig. 8

Sucht man den Widerstand, bei dem gerade der dunkle Zwischenraum zwischen zwei sich folgenden Entladungen noch wahrnehmbar ist, d. h. wo die Entladung anfängt alterirend zu werden, so giebt der Versuch den dem Minimum der Entladungsdauer entsprechenden Widerstand d:

$$d = \frac{c}{\sqrt{n}}$$

Fig. 81.





wo c eine Constante und n die Flaschenzahl einer Batterie bedeuten.

Oberfläche der Batterie	Grenzwiderstand d	
	Beobachtet Meter	Berechnet Meter
1	0·058	0·056
2	0·041	0·040
4	0·025	0·028
8	0·018	0·020
16	0·014	0·014

Es stimmt also die obige Formel so ziemlich ge
mit den beobachteten Widerständen überein.

Felici giebt eine andere Methode an, die Dauer der Li
erscheinungen bei der Entladung zu bestimmen, die ähn
der von Arago für die Bestimmung der Dauer des Bli
ist, indem er auf einer undurchsichtigen kreisförmi
Scheibe mehrere durchsichtige Stellen anbrachte. D
in rascheste Rotation versetzte Scheibe brachte er zwisc
das Auge und den Funkengeber. Sind die Lichterscheinun
von messbarer Dauer, und die Bewegung der Scheibe s
rasch, so erscheinen die durchsichtigen Striche verbreit
und die mit einem Fernrohr und Ocular-Mikrom
gemessene Verbreiterung der Lichtspalte lässt bei bekan
Rotationsgeschwindigkeit auf die Dauer der Lichtersch
nung schliessen.

Cazin hat diese Methode verbessert, indem er e
kreisförmige Glimmerscheibe mit durchsichtigen radia
Strichen in Distanz von zwei Grad voneinander vers
Vor dieser, parallel zu ihr, steht eine feste Scheibe
blos sechs äquidistanten Strichen, welche eine Art Non
mit den 180 Strichen der rotirenden Glimmersche
bilden. Dreht sich diese um $^1/_{180}$ des Umfanges oder z
Grad, so tritt jedesmal eine Ueberdeckung der beweglic
mit den sechs fixen Strichen ein. Für eine volle U
drehung entstehen so $180 \times 6 = 1080$ Coinciden
für beiderlei Striche.

Bei 100 Umdrehungen in der Secunde entste
also 108.000 Coincidenzen; das Licht der Funkenqu
wird durch eine Linse parallel gemacht und fällt senkre
auf die Scheiben und ihre Striche ein, und diese wer
dann mit einem Fernrohr beobachtet. Ist die Dauer
Lichtentwicklung eine merkliche, so sieht man in Fo

der Fortdauer des Lichteindruckes auf den Sehnerv mehrere Coincidenzen der Striche auf einmal, die in Folge der kurzen Beleuchtungsdauer stille zu stehen scheinen, und umso mehr, je länger die Dauer der Belichtung wird.

Ist die Zeitdauer t zwischen je zwei Coincidenzen und T die Dauer der Lichtentwicklung durch den Entladungsfunken, so ist:

$$T = a\,t,$$

wo a die Zahl der auf einmal sichtbaren hellen Striche bedeutet, wenn die Lichtentwicklung durch den Funken bei der stattfindenden Coïncidenz beginnt; hingegen ist die Dauer:

$$T = (a + 1)\,t',$$

wenn dieselbe etwas vor der Coincidenz beginnt.

Die Wahrscheinlichkeit, einen Strich bei momentaner Beleuchtung oder bei längerer Dauer derselben zu sehen, hängt von der Dimension der durchsichtigen Striche und der dunklen Zwischenräume ab, ist also für bestimmte Scheiben eine Constante c.

Für eine bestimmte Zahl n sich rasch folgender Funken wird die Zahl der sich deckenden und der einzeln sichtbaren Striche sein:

$$n\,c\,(a + 1) \text{ und } (1 - c)\,n\,a.$$

Während also n Funken sich folgen, sah man N Striche auf den Scheiben, also ist:

$$N = n\,c\,(a + 1)$$

$$N = n\,(a + c), + (1 - c)\,n\,a = n\,[(a + 1)\,c + (1 - c)\,a],$$

woraus sich die Zahl a finden lässt:

$$a = \frac{N}{n} - c,$$

nun ist $a = \frac{T}{t}$, also wird die Dauer eines Funkens

$$T = \left(\frac{N}{n} - c\right) t.$$

Die Constante c ward gefunden, indem man wahrscheinlichen Werth des Sehens von a oder $(a +$ Strichen bei zuerst langsamer Rotation und dauern Beleuchtung durch eine Kerzenflamme z. B. bestimmt wo dann die Dauer des Lichteindruckes eines Striche unendlich klein war in Bezug auf die Beleuchtungsdauer. Wiederholte man den Versuch mit verschiedenen stets ansteigenden Geschwindigkeiten, so fand man, dass z. B. mit einem solchen Apparate ein Strich 70mal bei 100 verschiedenen Lagen der Scheibe wahrgenommen wurde. Der Wahrscheinlichkeits-Coëfficient ist also hier $C = 0{\cdot}7$. Mit diesem Apparate fand Cazin, dass die Versuche durch die empirische Formel:

$$T = \frac{A\,(1 - a^n)\,(1 - b^d)}{1 + c\,r^{4/3}}$$

gut dargestellt wurden. In dieser Formel ist T die Lichtdauer, n die Zahl der Flaschen einer Batterie, d die Schlagweite des Funkens, r der Widerstand im Schliessungsleiter. Die Grössen a und b sind für einen bestimmten Versuch von der Beschaffenheit der Kugeln des Entladers, sowie der Beschaffenheit des isolirenden Mittels ganz unabhängige Constanten, während die Constante A von der Beschaffenheit der Kugeln und noch anderen Umständen beim Versuche abhängt.

Bei seinen verschiedenen Versuchen fand Cazin:

a = 0·68 bis 0·89
b = 0·83 bis 0·94
A = 52 bei Anwendung neuen Platins, bei älterem 149;
A = 157 für Kupferkugeln,
A = 248 für Zinkkugeln;

wegen dieser grossen Aenderungen des Einflusses der Entladerkugeln waren die Resultate etwas unsicher, doch fand er, dass die Entladungsdauer einer gleichen Zahl von Flaschen in der Cascadenverbindung bedeutend grösser ist, als die von der Entladung einer Batterie herrührenden, und zwar giebt er die empirische Formel dafür:

$$T' = 4\,T\left(\frac{n\,n'}{(n+n')^2}\right)^{\frac{4}{3}}$$

Ist die Flaschenzahl n in Batterieverbindung, gleich jener in Cascadenverbindung also $n = n'$, so ist demnach:

$$T_1 = 4\,T\left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{4}{3}} = 4^{-\frac{1}{3}} \times T = \frac{T}{\sqrt[3]{4}}$$

Da die Constante a kleiner als die Einheit ist, so wächst also mit der Capacität die Dauer des Entladungsfunkens.

Der Widerstand der Flüssigkeiten z. B. einer Mischung gleicher Theile von Oliven- und Terpentinöl ist sehr gross gegen den in der Luft. Man kann dies zeigen, indem man die zwei rechtwinkelig gebogenen Entladerstäbe so stellt, dass die Kugel des einen mehrere Millimeter unter die Oberfläche der Flüssigkeit taucht, und derselben in horizontaler Richtung die Kugel des andern in der Luft etwa 100 Mm. weit gegenüber steht. Der Funke geht dann senkrecht zur Oberfläche der Flüssigkeit, biegt sich in

der Luft um und geht gerade aus zur andern K
welche in der Luft in geringer Entfernung von der O
fläche der Flüssigkeit festgehalten wird.

Die Gestalt des Entladungsfunkens und der zur
gelegte Weg erinnert an die Erscheinungen der Li
brechung, indem der Funke auch hier den kürze
Weg, wie ein Lichtstrahl, einschlägt.

Taucht man beide Kugeln einige Millimeter u
die Flüssigkeit ein, so geht die Entladung geradlinig;
Emporheben, bis die Kugeln der Oberfläche der Flü
keit sehr nahe kommen, entsteht eine senkrechte I
ladung, und die Vereinigung beider Elektricitäten erfolg
der Oberfläche in der Luft.

Auch die Art der Elektricität hat Einfluss auf
Funkenbildung, wie Faraday nachwies. Er liess das
Ende des Ausladers gabelförmig gestalten, Fig. 80,
mit zwei ungleich grossen Kugeln versehen; das an
Ende hat ebenfalls eine Gabel, aber mit ungleic
Kugeln, welche jede eine der anderen im Durchme
gleichen.

Je zwei ungleiche $k K$ und $k_1 K_1$ stehen in gleic
Distanzen einander gegenüber. Zwei der Kugeln k
entladen sich gegeneinander, wenn die Gabel II pos
ist und zwei $k_1 K_1$, wenn die Gabel I die positiv
ladene ist.

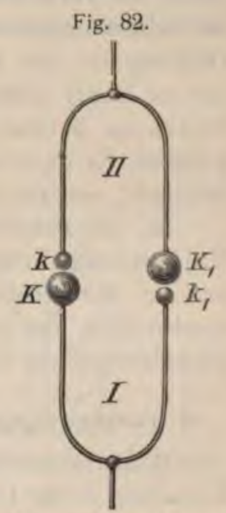
Es findet also die Entladung immer so statt,
die grössere Schlagweite auftritt, wenn die kleinere Ku
positiv, die grössere negativ ist.

Faraday nahm auch zwei Kugeln K von 2 Zoll Dur
messer und k von 0·25 Zoll Durchmesser (Fig. 82), de
eine mit der Elektrisirmaschine, die andere mit der E
in Verbindung steht. War die Kugel K positiv, so bet

die Schlagweite 0·49 bis 0·51 Zoll in Form von Büscheln und Funken, und bei 0·52 Zoll entstanden nur Büschel.

War die grössere Kugel negativ, entstanden funkenförmige Entladungen auf 1·15 Zoll Distanz, bei 1·55 Zoll funken- und büschelförmige Entladungen, bei 1·65 Zoll Distanz blos Lichtbüschel. Es ist also die Entladungsdistanz für Büschellicht in letzterem Falle dreimal so gross, wenn die kleinere Kugel durch Influenz positiv geladen worden.

Fig. 82.



Es verhalten sich daher beide Elektricitäten sehr verschieden, was Gaugain zur Construction der sogenannten elektrischen Ventile führte.

Er nahm ein elektrisches Ei mit verschiebbarer oberer Entladerstange, welche durch eine Lederstopfbüchse luftdicht hindurchging und darin mit starker Reibung sich hin- und herschieben liess. Eine der beiden Kugeln im elektrischen Ei war mit Schellack überzogen, und nur eine sehr kleine Fläche, die der anderen Kugel zunächst gegenüber, freigelassen; verband man diese mit dem positiven Polende eines Inductoriums von Ruhmkorff, und die nichtbedeckte Kugel mit dem anderen, so ging immer leichter die Entladung vor sich, je mehr das Gas verdünnt wird, wie man an dem sich ausbreitenden Lichtbüschel wahrnahm. Ist die schellackirte Kugel negativ, so sieht man bei fortdauerndem Evacuiren die Lichtentwicklung zu einem Maximum fortschreiten,

hierauf vermindert sie sich, verschwindet und kehrt sich endlich um, indem die Aureole, welche den negativen Pol charakterisirt, zur anderen Kugel übergeht, so einen Richtungswechsel des Entladungsstromes andeutend.

Da der Oeffnungsstrom einer grösseren Potentialdifferenz entspricht, so geht er allein bei grösserer Entfernung der Kugeln durch, während bei abnehmendem Druck die Leitungsfähigkeit so weit wachsen kann, dass der Schliessungsstrom durchgehen kann. In umgekehrter Ordnung ist dies aber nicht der Fall, und die schellackirte Kugel wirkt dann wie ein Ventil, indem es dem Strome nur in einer bestimmten Richtung den Durchgang gestattet. Es dient dies zur Trennung alternirender Entladungen, und zur Bestimmung der Entladungsrichtung.

Ist die Potentialdifferenz sehr gross, so wird die Ventilwirkung aufgehoben, indem der Widerstand, der sich an der schellackirten Kugel erzeugt, überwunden werden kann, und dann geht jede Entladung durch, ohne Rücksicht auf die Richtung.

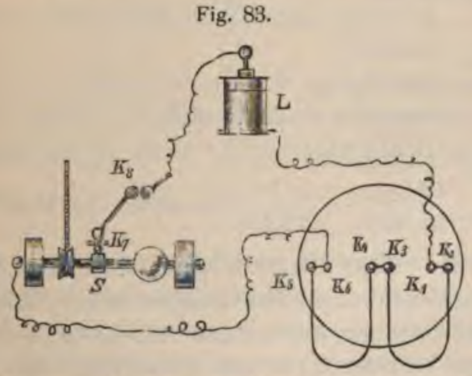
27. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Spannungselektricität.

Wheatstone hat die Erscheinungen der disruptiven Entladung in der Luft bei Leydener Flaschen zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Entladungsstromes benutzt. Wheatstone benutzte folgenden Apparat für diese Versuche. Sechs Metallkugeln stehen mit ihren Mittelpunkten in horizontaler Linie in einer Ebene einander gegenüber, so dass der Abstand je zweier gleich gross ist (Fig. 83).

Die Kugel k_1 ist durch einen Leitungsdraht mit dem negativen äusseren Belege der Leydener Flasche L in Verbindung, die Kugel k_2 steht ihr auf eine bestimmte

Distanz d gegenüber und ist durch einen langen Leitungsdraht mit der Kugel k_3 in Verbindung, dieser steht der Kugel k_4 des zweiten ebenso langen Leitungsdrahtes gegenüber, welcher mit der Kugel k_5 endet. Diese steht der Kugel k_6 auf dieselbe Distanz d wie die anderen Kugelpaare gegenüber, welche mit der Axe des rotirenden Spiegels s und dadurch mit der Kugel k_7 des Entladers in Verbindung steht. Die zweite Kugel k_8 desselben steht wieder um d von der letzten ab, von welcher

Fig. 83.



ein Draht zum inneren positiven Belege der Leydener Flasche L führt.

Die Distanz d betrug $^1/_{10}$ Zoll, und die beiden grossen Leitungswiderstände bestanden aus $^1/_{15}$ Zoll dickem Kupferdraht 1200 Fuss lang und in zwei Linien arrangirt. Der Stahlspiegel s hatte einen Zoll Durchmesser. Die Axe hatte einen Ansatz, der in einem bestimmten Moment gegen den Leitungsdraht der Kugel k_7 anschlug, diese der Kugel k_8 auf eine bestimmte Distanz näherte und so die Entladung der Flasche hervorbrachte. Eine an derselben Axe angebrachte Sirene gab durch die Tonhöhe die Rotations-

geschwindigkeit an, und die drei entstehenden F
zeigten sich in Linien ausgezogen auf etwa 24 Gr
die mittlere im Sinne der Rotation gegen die beide
seren verschoben. Dieser Winkel muss nach den G
der Reflexion den doppelten Drehungswinkel des S
in der Zeit darstellen, um welche der Beginn des F
gegen das Ende verspätet ist. Der Drehwinkel des S
welcher der Verlängerung der Funkenbilder ent
und 24 Grad betrug, ist sonach:

$$\alpha = \frac{24^0}{2} = 12^0.$$

Da nun der Spiegel 800 Umdrehungen in der S
machte, so entspricht die Zeit, welche der Spiegel geb
um einen Drehwinkel von 12 Grad zu durchlau

$t = \frac{12}{360 \times 880} = \frac{1}{24000}$ Secunde, der Funke

Da bei dieser Rotationsgeschwindigkeit di
schiebung des mittleren Funkenbildes nur $^1/_2$ Grad
also einer Drehung des Spiegels von $^1/_4$ Grad ent
so ist die Verspätung in der Entstehung des m
Funkens gegen jene der äusseren Funkenbilder:

$$t = \frac{1}{4 \times 360 \times 880} = \frac{1}{115200} \text{ Secunde}$$

Pflanzt sich der Entladungsstrom von einer
andern Ende der Leitung mit gleichförmiger Geschw
keit fort, so ist demnach die Strecke von 365
Leitungsdraht in $\frac{1}{1,152.000}^s$ durchlaufen worden,
einer Secunde die Strecke:

$$S = 365 \times 1152000^m = 420000 \text{ Km.}$$

Das Licht hat aber eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von nahezu 300.000 Kilometer in der Secunde; die Fortpflanzung der Lichtwellen ist also weniger schnell.

Doch zeigte bald darauf Faraday, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Entladungsstromes in weiten Grenzen sich ändern könne, je nach Beschaffenheit des Mittels, in welchem derselbe entsteht, und ferner auch von der Potentialdifferenz abhänge.

				Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Secunde und Kilometern	
Wheatstone	fand	für	Kupferdraht	420000	Leydener Flaschen Entladung.
Felici	„	„	„	260000	
Fizeau	„	„	„	180000	
„	„	„	Eisendraht	100000	
				Meilen	
Mitchell	„	„	„	45000	Telegraphendraht u. galv. Strom
Walker	„	„	„	30000	

28. Messung der Intensität des elektrischen Lichtes.

Was die Lichtintensität anlangt, so hat Masson mit Flaschenbatterien hierüber Messungen veranstaltet. Er benutzte als Photometer eine rasch rotirende Kreischeibe mit schwarzen und weissen Sectoren. Die Zahl der Umdrehungen war wenigstens 100 in der Secunde. Ein Funkenmikrometer und eine Carcellampe verschieben sich je auf einer optischen Bank und beleuchten die rotirende Scheibe unter einem Winkel von 45 Grad. Eine gleichmässig gedrehte Elektrisirmaschine lieferte Funken in rascher Folgenreihe vermittelst einer bei constantem Leitungswiderstande bis zur Entladung geladenen Flaschenbatterie.

Die Lampe stand fest, das Funkenmikrometer aber wurde verschoben. Bei einer bestimmten Lichtintensität des Funkens konnte er gerade die Contouren der Sectoren

noch unterscheiden und bis auf 1 oder 2 Cm. die entsprechende Distanz des Funkenmikrometers von der rotirenden Scheibe messen. Er fand, dass ihre Intensität, wie für das Licht, dem Quadrate der Distanz umgekehrt proportional ist. Ist I die Intensität der Lampe, i die Intensität des Funkens, R der Abstand der Lampe, r der Abstand des Funkenmikrometers von der Scheibe, C das constante Verhältniss der Beleuchtung durch Lampe und Funkenmikrometer, so lässt sich die Lichtintensität des elektrischen Funkens ausdrücken:

$$\frac{i}{I} = C\,\frac{r^2}{R^2}.$$

Aenderte er die Schlagweite, so fand er, dass die Distanz des Funkenmikrometers von der Scheibe proportional der Schlagweite wächst, also ist die durch den elektrischen Funken entwickelte Lichtintensität proportional dem Quadrate der Schlagweite.

Bei Anwendung von mehreren Flaschen gleicher Dicke, aber verschiedener Oberflächen fand er bei gleicher Schlagweite die Lichtintensität der geladenen Oberfläche des Condensators proportional.

Waren die Oberflächen gleich, die Dicken der Condensatoren aber verschieden, so fand Masson, dass die Lichtintensität im verkehrten Verhältnisse der Dicke der isolirenden Schicht stehe.

Man kann also das Gesammtergebniss der Masson-schen Untersuchung durch die Formel

$$i = c\,\frac{d^2 f}{k}$$

darstellen, wo i die Lichtintensität der Funkenentladung, d die Schlagweite, f die geladene Fläche, k die Dicke der isolirenden Schicht, c eine Constante bedeuten.

Da nun die Potentialdifferenz der Ladungsmenge E, der Dicke k direct, der geladenen Oberfläche verkehrt proportional ist, so kann man setzen:

$$i = \frac{c\,d^2 f}{k} = a\,V^2 \times \frac{E}{V},$$

wo a eine andere Constante bedeutet, und sonach wird:

$$i = a\,.\,VE.$$

Die Lichtintensität ist also proportional der Potentialdifferenz und der Ladungsmenge, also der elektrischen Energie.

Untersucht man das Licht des elektrischen Funkens, das Büschellicht, sowie das Licht im elektrischen Ei mit dem Spectroskope, so bemerkt man eine Reihe glänzender, mehr oder minder scharf begrenzter Linien und Liniengruppen, d. h. dicht beisammenstehender heller Linien auf Grund eines schwachen continuirlichen Spectrums.

Schon Wollaston machte auf diese wesentliche Verschiedenheit des Spectrums elektrischen Lichtes von dem continuirlichen der glühenden Körper und Kerzenflammen, sowie von dem Sonnenspectrum, aufmerksam, welches im Gegentheile von dunklen Linien durchsetzt ist, die Wollaston und Frauenhofer beinahe gleichzeitig entdeckt haben und von Letzterem den Namen Frauenhofer'sche dunkle Linien tragen.

Es hat sich gezeigt, dass das schwache continuirliche Spectrum des Funkens zwischen Metall- oder Kohlenspitzen von den glühenden festen Theilchen herrührt, welche bei der Entladung, wie bekannt, von einem Polende zum andern übergeführt werden, die hellen Linien oder das sogenannte Linienspectrum entstehen aber durch die Superposition des Spectrums der glühenden Gase der

Luft und der in glühende Dämpfe verwandelten Met
spitzen, zwischen denen die Entladung erfolgt. Das so
stehende Spectrum ist also eine sehr complexe Erschein
und es gelang erst durch die Versuche von Fouca
Masson, Grove und Poggendorff, die eine gegen
andere beliebig abzuschwächen und sie so voneina
zu trennen.

Masson hat zuerst statt des gewöhnlichen Fun
eine Lane'sche Flasche mit Funkenmikrometer verwen
wodurch man eine regelmässige, fast ununterbroch
Reihe von sehr hellen Funken, wenn die Capacität
Leydener Flasche gross genug ist, erhält, und es ist
leicht, die Anwesenheit der Linien zu beobachten
zu messen.

Masson fand so, dass ein Theil der hellen Li
sich in allen Spectren vorfand; es sind dies die Spec
linien der atmosphärischen Gase, die übrigen vari
aber je nach dem Metalle oder der Substanz, aus wel
die Polenden bestanden.

Untersuchte er das Licht des elektrischen Eies
hohen Verdünnungsgraden und weiterer Distanz
Polenden, so fanden sich fast nur die von den at
sphärischen Gasen herrührenden Linien. Er nahm hie
statt diesen Wassertoff und reines Stickstoffgas und
so, dass jedes Gas besondere helle Linien zeigt, so
Wasserstoffgas eine intensiv rothe, Stickstoff hing
mehrere sehr charakteristische im blau-violetten Theil
Spectrums zeigte.

Noch besser als die Reibungs-Elektrisirmasch
eignen sich die Influenzmaschinen und am besten
Ruhmkorff'sche Inductorium zur Erzeugung dieser h
Spectrallinien in grosser Schärfe und Intensität.

Masson fand weiter, dass die Helligkeit der Spectra sehr variirte, je nach der Natur und der Verdünnung der Gase, dagegen war die Lage der Linienspectren unveränderlich und charakterisirte also die verschiedenen Gase.

Um die Metallspectra zu studiren, wählten Kirchhoff und Bunsen das Ruhmkorff'sche Inductorium von mässigen Dimensionen, da diese Spectra sehr hellglänzend sind, daher nicht die höchsten Potentialdifferenzen und Ladungsmengen erfordern.

Das Büschellicht, in dieser Weise untersucht, zeigt im Gegensatz zum Funkenlicht gar keine Metalllinien, namentlich das Büschellicht des elektrischen Eies; aber auch das continuirliche schwache Spectrum verschwindet, so dass blos die Gaslinien erübrigen, wenn die sogenannte dunkle Entladung auf grosse Distanz erfolgt. Ist dies nicht der Fall, so werden hie und da Metalllinien aufblitzen, und es bildet das Spectrum des Büschellichtes sonach die Zwischenlage für die äussersten Fälle der hellen Funkenentladung und der dunklen Entladung.

Die Ausdehnung des Spectrums des elektrischen Lichtes wird, wie jene des Sonnenlichtes sehr gross, wenn im Spectrometer, wie Mascart nachwies, Kalkspathprismen und Quarzlinsen angewendet wurden.

Mascart fand zwischen Cadmiumspitzen als Polenden den blau-violetten Theil des Spectrums, sowie den ultravioletten damit sichtbar werdenden Theil 6- bis 7mal länger als das sichtbare Spectrum, mit Flintprismen erzeugt.

Auch die Temperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf die Erscheinung der hellen Spectrallinien glühender Dämpfe; Draper und Frankland zeigten, dass durch immer stärkere Entladungen, bei stets wachsender Temperatur, selbst bei Dämpfen, wie jene des Natriums,

immer mehr Linien auftreten und das Spectrum so gl sam die Tendenz hat, aus einem discontinuirliche ein continuirliches überzugehen, wie es glühende Körper zeigen.

Aehnliches wies Cailletet bei den Gasen nach, dem er bei steigender Energie der Funken eines kräftig Inductoriums die Gase bis zu 30 und 40 Atmosphären co primirte. Die Spectrallinien wurden glänzender, erweiterte sich, verschwammen ineinander und bildeten endlich ei continuirliches Spectrum.

Die Geissler'schen Röhren, bestehend aus stark evacuirten Glasröhren, in Gestalt von Capillarröhren mit cylindrischen oder kugelförmigen Erweiterungen an beiden Enden, in welche Platin- oder Aluminiumdrähte als Polenden eingeschmolzen sind, geben bei hinreichender Energie der Entladung im engen Theile in der Capillarröhre ein so intensives Licht, dass es in manchen Fällen zur Beleuchtung Verwendung finden konnte.

Ein ebenso merkwürdiges Lichtphänomen ist die Schichtung des elektrischen Lichtes, wie es mit den sogenannten Geissler'schen Röhren bei grosser Energie der Entladung am besten wahrgenommen werden kann, doch zeigt sich das Phänomen auch recht gut im gewöhnlichen elektrischen Ei bei guter Evacuirung.

Die Schichten der Gase zwischen den beiden Polenden werden durch die Influenz sehr kräftig geladen, und ist die Ladung eine alterirende, wie bei den Ruhmkorff'schen Inductorien, d. h. in entgegengesetzter Richtung und in rascher Reihenfolge.

Aehnlich wirkt eine Influenzmaschine, wenn man die beiden Conductoren mit den Belegen einer Leydener Flasche verbindet und die Endkugeln des Entladers in

geringe Entfernung stellt, damit eine schnelle Folge von Entladungen der Flasche erfolge. Man bekommt so die oscillirende oder alternirende Entladung, wie oben gezeigt worden, und wenn die Geissler'sche Röhre im Schliessungskreise ist, die Schichtung des elektrischen Lichtes gerade so, wie mit dem Inductorium.

Man kann auch eine Röhre anwenden, wie sie für die Fallversuche im leeren Raume benutzt wird, sie möglichst evacuiren und zwei Zinnfoliestreifen oben und unten ankleben.

Fig. 84.



Verbindet man diese mit einer kräftigen Influenzmaschine oder einem Inductorium, so kann man durch passende Stellung der Entladerenden sehr schön die Schichtung hervorbringen und die Intensität der Erscheinung durch Verstellung des Entladers beliebig variiren (Fig. 84).

Hertz beobachtete eine eigenthümliche Lichterscheinung bei einer mässigen Verdünnung, nämlich bei 30 bis 50 Mm. Druck. Lässt man den Funken einer Leydener Flasche in einer Geissler'schen Röhre von einem Drahte zu dem andern überspringen, und ist der eine zugleich in eine unten offene dünne Glasröhre eingeschmolzen worden, welche sich im Inneren der Geissler-schen Röhre befindet, so sieht man ausser der gewöhnlichen Lichtentwicklung, noch in der Nähe der Mündung

der inneren, nur einige Millimeter im Durchmesser haltenden Röhre, ein braungelbes Lichtbüschel heraustreten.

Die Länge, Gestalt und Farbe variirt mit dem Drucke und der Natur des verdünnten Gases. Diese Strahlenbüschel können 10 bis 20 Cm. lang werden und bringen starke Erwärmung am Glase hervor, und können ein Flugrädchen in Rotation versetzen. Ein Magnet hat auf dieses Büschel keinen Einfluss, während er auf die Lichtsäule zwischen den beiden Poldrähten bekanntlich ablenkend einwirkt.

Es erscheint mit dem rotirenden Spiegel untersucht, aus successiven Bildern gebildet, was eine im Rohre aufsteigende, leuchtende Gaswolke anzeigt.

Auch die Farbe ist variabel: im Sauerstoffe reingelb, in Kohlenwasserstoffen grünweiss, im Wasserstoff indigoblau und sehr lang. Es sind also heftige explosive Bewegungen durch die Entladung erzeugt, die besser sichtbar werden, weil die innere Röhre beide Entladungserscheinungen räumlich trennt. Sie erscheinen aber in jeder evacuirten Röhre, nur sind sie durch Mischung mit der andern Lichterscheinung weniger gut wahrnehmbar.

Eine merkwürdige Analogie des Nordlichtes, die den Erweis erbringt, dass dieses seinen Ursprung nur der elektrischen Entladung zwischen der Erde und dem Weltraume, durch die verdünnten höchsten Luftschichten hindurch, verdanken kann, wurde von Professor Lemström im nördlichen Finnland hervorgebracht.

Zwei Berggipfel von 6000 Fuss Höhe wurden mit einem Netzwerke von Kupferdrähten umzogen, das mit der Erde durch das eine Ende der Leitung in Verbindung stand, während andererseits die Leitung mit vielen Spitzen versehen wurde. Ueber die Leitung mit Spitzen

breitete sich bei elektrischer Differenz zwischen Erde und Luft eine schimmernde Röthe aus, die bis zu einer Höhe von 360 Fuss über derselben reichte, und ganz den bekannten Nordlicht-Phänomenen in Gestalt und Farbe entsprach.

Alle vorstehenden Versuche lassen sich mit der oben beschriebenen Elektrisirmaschine mit Inductionsscheibe von Zenger bei nur 10zölligem Scheibendurchmesser durchführen, und ist die Ladungsmenge und Potentialdifferenz durch den Entlader regulirbar. Bei Einschaltung von vier Leydener Flaschen, wie sie den grossen Ruhmkorff'schen Inductorien beigegeben werden, Flaschen von etwa 100 bis 150 Quadratzoll Oberfläche und verbunden in Batterie oder Cascade, können alle erwähnten Lichteffecte im elektrischen Ei und den Geissler'schen Röhren innerhalb sehr weiter Grenzen regulirbar hervorgebracht werden.

Die verschiedenen Entladungsformen: Funken in langgestreckter oder kugeliger Form, Lichtbüschel und zickzackförmige Entladung, sowie das phosphorische Licht der dunklen Entladungen lassen sich durch Anwendung der Spitzenentlader in grösserer oder kleinerer Distanz, durch Aufsetzen einer an den Spitzenentlader aufsteckbaren Scheibe von ein bis zwei Zoll Durchmesser in kleinerer oder grösserer Entfernung von der Spitze des andern Entladers, darstellen. Für das phosphorische Licht der sogenannten dunklen Entladung werden die beiden Ausladerstäbchen sehr weit entfernt und auf das eine eine kleine Kugel von etwa zwei bis drei Linien Durchmesser aufgesteckt, bei einer Entfernung von 25 bis 30 Mm. und langsamem Drehen der Maschine sieht man das phosphorische Leuchten sehr intensiv und in stets wechselnder Gestalt.

29. Die chemischen Wirkungen.

Wie bereits erwähnt, wurde von allen chemischen Wirkungen zuerst der auffällige Geruch bei den Entladungen kräftiger Elektrisirmaschinen wahrgenommen, der sich durch die Ueberführung des Sauerstoffes in activen Sauerstoff oder Ozon entwickelt. Er zeigt sich nicht so sehr bei der Funkenentladung, als bei der Büschelentladung der verschiedenen Theile einer kräftigen Elektrisirmaschine gegen die Luft, welche namentlich im Dunkeln, als Büchellicht und phosphorisches Licht, sogenannte dunkle Entladung, wahrnehmbar wird. Es sind sonach die Entladungsformen, bei denen nur geringe Temperaturerhöhung erfolgt, dann auch die alternirenden Entladungen, welche diese Ozonbildung veranlassen.

Man nennt diese Entladungen, welche sich so charakteristisch chemisch wirksam zeigen, das elektrische Effluvium, und hat diese Wirkung bereits zur technischen Verwerthung, für Ozonerzeugung zu Zwecken der Bleicherei, Anwendung gefunden.

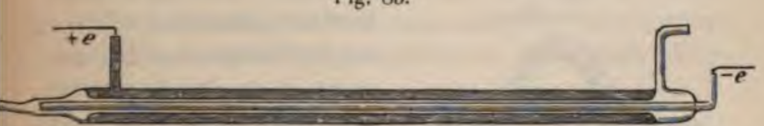
Siemens benutzte dazu ein weites Glasrohr, in das ein engeres concentrisch eingeschmolzen wird. Das innere Rohr ist an einem Ende zugeschmolzen, am andern offen; das äussere ist geschlossen und hat zwei seitlich angeschmolzene kurze Glasröhren, um Gase durchleiten zu können.

Die äussere Röhre ist mit Zinnfolie überzogen, und ebenso die innere an ihrer Innenfläche, und beide Belege werden mit einer alternirenden Elektricitätsquelle, einer Influenzmaschine oder einem Inductorium verbunden. Der ringförmige, vom Gase durchströmte Raum wird nun der stetigen Wirkung des elektrischen Effluviums ausgesetzt sein, und strömt Luft oder Sauerstoffgas durch,

so kann man bedeutende Mengen von Ozon zum Bleichen von Stoffen, Harzen, Papiermasse u. s. w. erzeugen.

Um eine gleichförmige Einwirkung auf die Gase zu erhalten, hat Thénard den Siemens'schen Röhren-Apparat modificirt; er nimmt drei concentrische Röhren. Die innerste Röhre ist an einem Ende geschlossen und enthält eine die Elektricität leitende Flüssigkeit; der äusserste ringförmige Raum ist ebenfalls mit dieser Flüssigkeit gefüllt, und die Entladung findet also aus beiden Flüssigkeitsschichten gegen den mittleren ringförmigen Raum

Fig. 85.



statt, durch welchen der Gasstrom geleitet wird (Fig. 85). So ist die Einwirkung auf die Gase eine sehr gleichförmige, und die Ausbeute an Ozon eine viel grössere.

Wendet man Quecksilber als leitende Flüssigkeit an, so wird das Glas angegriffen und wird rauh an der Oberfläche, wodurch kleine Funken statt des Effluviums entstehen; daher wendete Thénard entweder Antimonchlorürlösungen oder verdünnte Schwefelsäure an, welche diese Wirkung nicht haben. Dennoch erleidet das Glas, wiewohl erst nach längerer Zeit, eine moleculare Veränderung, welche die Bildung des Effluviums endlich auch modificirt.

Die atmosphärische Luft der Wirkung des Effluviums im geschlossenen Raume, z. B. in einem Endiometer ausgesetzt, erleidet, wie schon Priestley fand, eine Volumverminderung und röthet dann Lackmuspapier, zeigt also eine saure Reaction. Cavendish fand, dass unter diesen Umständen sich Salpetersäure bilde, indem er eine gebogene Röhre mit Luft und Kalkwasser füllte, und ihre beiden offenen Schenkeln in Quecksilber tauchte (Fig. 86).

Er wies bei der Analyse salpetersauren Kalk nach, und Perrot konnte durch die Einwirkung des Effluviums auf einen durch eine Capillarröhre geleiteten Luftstrom bis 100 Milligramme Salpetersäure in der Stunde erhalten. Stickstoff und Sauerstoff konnten bisher durch hohe Temperatur nicht verbunden werden, wie z. B. Stickstoff und Kohle, welche Cyan bilden.

Fig. 86.



Berthelot erhielt durch die elektrische Entladung zwischen Kohlenspitzen in Wasserstoffatmosphäre Acetylen. Man erhält es bekanntlich in Menge bei unvollständiger Verbrennung von Oel, Leuchtgas u. s. w. Ebenso entsteht Cyanwasserstoff nach Berthelot, wenn die Entladung durch ein Gemenge von Acetylene und Stickstoff erfolgt.

Die Einwirkung des Effluviums auf ein Gemenge von Kohlensäure und leichten Kohlenwasserstoffgas gab nach Berthelot eine ölartige Flüssigkeit, ebendasselbe erhielt er aus einer Mischung von Kohlenoxyd- und Wasserstoffgas. Die Analyse ergab gleiche Aequivalente von Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff, also dieselbe Zusammensetzung wie die Cellulose und Essigsäure.

Die chemischen Verbindungen der Metalle mit den Metalloiden können ebenso veranlasst, wie aufgehoben werden. Oele und schlecht leitende Flüssigkeiten überhaupt werden durch kräftige elektrische Entladungen zersetzt, bei ersteren wird Kohle an einem Polende abgelagert.

Van Marum hat das Volum von Leuchtgas durch die Einwirkung der Elektricität verdreifacht, und Grove zersetzte Wasserdampf, Alkoholdampf und viele andere Dämpfe organischer Verbindungen.

Es ist klar, dass das Effluvium wie die Funkenentladung sehr kräftige Wirkungen hervorbringen und oft Verbindungen einleiten oder aufheben kann, selbst wenn die Reaction auf gewöhnlichem chemischen Wege nicht erzielbar ist.

Die Einwirkung des Ozon auf Anilinfarben hat bereits praktische Verwendung in der Färberei gefunden, zur Hervorbringung von Dessins auf mit Anilinfarben, Indigo u.s.w. gefärbten Zeugen; ebenso kann aber Desoxydation erzielt werden, also z. B. das Verbleichen von mit Anilinfarben gefärbten Zeugen rückgängig gemacht werden.

Die elektrolytischen Wirkungen an den Drahtenden, wenn zwei Drähte zu dem positiven und negativen Conductor einer kräftigen Elektrisirmaschine geführt wurden, und die Entladung durch eine Säure und Salzlösung in Wasser ging, beobachteten schon Troostwick und Pearson im vorigen Jahrhundert. Letzterer erhielt bis $^1/_{150}$ Kubikzoll Knallgas bei dreistündiger Einwirkung der Entladungen einer kräftigen Glaselektrisirmaschine.

Wollaston fand, dass, je feiner die Drahtenden, er benutzte bis $^1/_{30}$ Mm. im Durchmesser haltende Gold- und Platindrähte, desto grösser die chemische Wirkung sei. Er zersetzte so Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff;

eine Lösung von salpetersaurem Kupfer zeigte am negativen Drahtende den benutzten Platindraht mit Kupfer überzogen u. s. w.

Wurde ein Lackmuspapier mit Wasser befeuchtet und zwei Golddrähte zur Elektrolyse benutzt, erhielt man am positiven Drahtende eine rothe Färbung; mit Obigem zusammengehalten zeigt sich also eine saure Reaction am positiven, eine basische am negativen Drahtende.

Beides lässt sich mit Veilchensyrup, mit etwas schwefelsaurer Natronlösung verdünnt, zeigen; der positive Gold- oder Platindraht zeigt Röthung, der negative eine Grünfärbung, also Ausscheidung von Schwefelsäure am positiven Pole und Natron am negativen Pole anzeigend.

Diese chemischen Wirkungen der Entladung hatten Elster und Gertel auf den Gedanken gebracht, sie zur Ladung von Accumulatoren zu benutzen. Sie benutzten eine Zamboni'sche Säule, sogenannte Trockensäule von 11.000 Elementen, jedes von einem Quadratcentimeter Oberfläche, welche mit dem Kupferende an dem positiven Conductor einer Holtz'schen Influenzmaschine geladen wurden. Nach 10 Minuten Ladung wurde eine so grosse Spannung entwickelt, dass Funken von 1 Mm. Schlagweite übersprangen, und eine Geissler'sche Röhre in continuirliches Leuchten versetzt wurde.

Sie bauten dann eine ähnliche Säule, jedoch mit nur einem Metall, wozu sie Bleifolie benutzten, wie bei Planté's rheostatischer Maschine. Die Bleifolie wurde mit Papier beklebt, das mit einer Lösung von Wasserglas imprägnirt war, und mit etwas Bleioxyd eingerieben worden. Von diesen Platten wurden 7000 aufeinander geschichtet. Hatten sie dieselbe Oberfläche, wie die erwähnte Zam-

boni'sche Säule, so war ihre Wirkung viel grösser, als die der 11.000elementigen trockenen Säule.

Man hat hier offenbar die Anfänge der Ueberführung der hochgespannten Elektricität von Elektrisirmaschinen in continuirliche Ströme und zum Betriebe von Accumulatoren vor sich.

30. Die physiologischen Wirkungen.

Diese Wirkungen gehören zu den zuerst wahrgenommenen, denn schon schwache elektrische Funken bringen in den Hautnerven ein prickelndes, stärkere ein stechendes Gefühl hervor. Bei höheren Potentialdifferenzen, bei Anwendung von Condensatoren entstehen Zuckungen, convulsivische Muskelbewegungen, die sich in's Unerträgliche steigern und endlich Lähmungserscheinungen der Nerven und Muskeln hervorrufen können.

Schon Abbé Nollet hat die Entladung grosser Leydener Flaschen durch 300 Personen geleitet, heftige Erschütterungen bei denselben hervorgerufen und dabei bemerkt, dass die elektrischen Schläge viel heftiger an den Personen an beiden Enden der Kette auftraten, als an den übrigen, was wohl der mangelhaften Isolirung und dem dadurch am Wege entstehenden Verluste an Potentialdifferenz zuzuschreiben ist.

Der Schlag einer mittelgrossen Leydener Flasche tödtet bereits Vögel, die Entladungen grösserer Batterien aber sind lebensgefährlich für Menschen und Thiere. Ein einziger Blitzschlag hat im Sommer 1883 eine Heerde von 30 Schafen getödtet und im Vorjahre vier Personen schwer verletzt und zwei getödtet.

Diese heftigen Wirkungen der Elektricität auf den thierischen Organismus, ihre physiologischen Wirkungen,

stellten grosse Schwierigkeiten dem eingehenden Studium ihrer Gesetze entgegen, und es gelang nur durch stark Herabminderung derselben, oder Anwendung continuirlicher galvanischer Ströme, die Gesetze der Nervenreizung zu ermitteln. Leitet man einen schwachen continuirlichen Strom in aufsteigender Richtung, d. h. wenn er de Nerv in der Richtung von der Peripherie zum Centrum durchläuft, so entstehen bei der Schliessung des Stromes stärkere Wirkungen als bei der Oeffnung; wird der Strom nicht unterbrochen, so ist keine physiologische Wirkung vorhanden. Steigt aber die Intensität des Stromes seh an, so nähern sich die beiden Wirkungen in ihre Grösse, bis sie bei stetigem Ansteigen einander ganz gleich werden. Bei noch grösseren Intensitäten wird der Oeffnungsschlag stärker als der bei der Schliessung des Stromes.

Aber auch ein ausserordentlich starker continuirliche Strom, dessen Intensität aber variirt, kann auf Nerven und Muskeln einwirken und bringt dann eine continuirliche Contraction der Muskeln, den Tetanus, hervor.

Jedoch können bei sehr starken continuirlichen und constanten Strömen, wahrscheinlich in Folge chemischer Zersetzung, ebenfalls krampfhafte Contractionen der Muskeln erfolgen.

Die Nerven sind noch empfindlicher, und kann sowohl die Nervensubstanz zersetzt, als auch ihrer Zersetzung bei krankhaften Nerven durch die Einwirkung der Elektricität entgegengewirkt werden, daher man in neuerer Zeit die Elektricität häufig zu Heilzwecken, namentlich bei Erkrankungen der Gehör- und Sehnerven anwendet.

Die sogenannte medicinische Flasche wurde daher häufig als Heilmittel bei Muskel- und Nervenlähmungen angewendet. Sie ist eine Leydener Flasche mit Funken-

mikrometer, um die Zahl und Intensität der Erregungen der Nerven und Muskeln regeln zu können. Weil aber die galvanischen Ströme nicht so heftige Wirkungen, wie die Spannungselektricität hervorbringen und leichter regulirbar sind, so haben diese die Anwendung der Spannungselektricität beinahe gänzlich verdrängt. Werden kräftigere Wirkungen gewünscht, so werden die Inductorien als Stromquellen zumeist verwendet.

Chaveau hat in neuester Zeit die sogenannte unipolare Erregung angewendet, um die Phänomene der Erregung durch positive und negative Elektricität getrennt studiren zu können.

Er brachte das Versuchsthier in ein Wasserbad, oder er berührte das Nervenende mit dem einen Poldrahte während der andere zu dem symmetrischen Nerv geleitet war, und fand die Einwirkung der positiven Elektricität sehr verschieden von der der negativen.

Er fand, dass die Erschütterungen durch die negative Elektricität bei schwacher Intensität viel stärker sind, als durch die positive. Steigt aber die Intensität, so werden sich beide endlich gleich, um bei weiterer Erhöhung der Intensität die Rolle zu tauschen.

Es wachsen also mit der Intensität die Wirkungen der negativen Elektricität langsamer, als die der positiven, man mag aber noch so sehr mit dieser ansteigen, so wachsen die positiven stets, wenn auch bei höheren Intensitäten nicht so rasch.

Mit dem Inductorium oder der Leydener Flasche erhält man ähnliche, jedoch weniger ausgesprochene Resultate.

Eine bemerkenswerthe Wirkung der Spannungselektricität für therapeutische Zwecke giebt Dr. Stein

an. Er erwähnt, dass ihre Wirkungsweise noch viel zu wenig studirt worden sei, und ihre Anwendung daher gegen jene der ihrer Wirkung nach genauer bekannten galvanischen und Inductionselektricität zurückstehen müsse.

Ein äusserst kräftiges Individuum von 26 Jahren wurde der Einwirkung starker Entladungsströme ausgesetzt. Sein ausgestreckter Arm wurde mittelst der Leitungsschnur mit dem positiven Conductor einer kräftigen Influenzmaschine in Verbindung gesetzt. Wurde der Arm mit der Zuleitung von der Schulter zu den Fingerspitzen gestrichen, also vom Centrum gegen die Peripherie, so entstand alsogleich der kataleptische Zustand, vollkommene Muskelstarre und Unempfindlichkeit. Nadelstiche und die heftigsten Schläge eines Ruhmkorff'schen Inductoriums wurden nicht empfunden. Wurde nach einigen Minuten von der Peripherie zum Centrum, also in entgegengesetzter Richtung mit der positiven Elektrode gestrichen, so entstand Lösung der Muskelstarre.

Wurde derselbe Versuch mit der negativen Elektrode ausgeführt, so entstand keine Wirkung in der Richtung vom Centrum zur Peripherie, hingegen trat in der entgegengesetzten Richtung die Muskelstarre ein.

Ebenso wurde sie durch Streichen mit der negativen Elektrode vom Centrum zur Peripherie wieder aufgehoben. Auch bei anderen empfindlichen Individuen wurde dasselbe Resultat der entgegengesetzten Wirkungsweise bei Erzeugung und Lösung der Muskelstarre wiederholt beobachtet. Auch bei unipolarer Einwirkung, wie oben erwähnt, wurde dasselbe Resultat bei ganz gesunden, nicht hysterischen Personen erzielt, so dass es hier nicht psychische, sondern physiologische Wirkungen sind,

welche der Erscheinung zu Grunde liegen. Mit galvanischen Strömen gelangen die Versuche nicht.

31. Magnetische und Inductionswirkungen.

Die ersten Beobachtungen magnetischer Wirkungen, hervorgebracht durch die elektrische Entladung, fallen schon in das vorige Jahrhundert. Der erste, der den sicheren Nachweis einer magnetischen Wirkung erbrachte, war Franklin, indem es ihm gelang, eine Nähnadel zu magnetisiren und durch Umkehrung der Entladungsvorrichtung auch den Magnetismus derselben umzukehren.

Aber erst Oersted's Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom zeigte die ganze Wichtigkeit dieser Wirkungen der Elektricität.

Die ersten messenden Versuche rühren von Savary her, welcher eine Stahlnadel unter einen horizontal gespannten Draht, durch den die Entladung ging, senkrecht zu demselben legte und durch Schwingungsversuche der feinen Nadel die Stärke ihres Magnetismus prüfte.

In einer solchen Versuchsreihe wendete er 15 Mm. lange, sehr dünne Stahlnadeln an und leitete die Entladung durch einen Platindraht von 0·25 Mm. Durchmesser und 1 Meter Länge.

Er fand, dass sehr dünne Nadeln von 10 und 15 Mm. Länge bei gleichem Abstande vom Drahte auch gleich starke magnetische Zustände erlangten. Die Magnetisirungsrichtungen aber waren durch denselben Entladungsstrom bald in dem einen, bald im andern Sinne gelegen.

Auch zeigte sich ein bedeutender Einfluss ihres Durchmessers. Sobald die Nadeln 0·8 bis 1·75 Mm. Durchmesser hatten, magnetisirten sich alle in einer Richtung durch

denselben Entladungsstrom auch bei verschiedenen Distanzen vom Leitungsdrahte.

Die Härtung zeigte sich ebenfalls von Einfluss; nur glasharte Nadeln zeigten Zeichenwechsel der Magnetisirungsrichtung, hinreichend angelassene Nadeln magnetisirten sich alle in einer Richtung.

Je kräftiger der Entladungsstrom, je höher die Potentialdifferenz war, desto stärker war der Magnetismus, desto mehr zeigte sich aber der Wechsel in der Magnetisirungsrichtung.

Die rapide Entladung muss eine Art molecularer Oscillation hervorbringen, welche eine Verschiebung in einer wie in der andern Richtung und Feststellung in derselben zulässig erscheinen lässt, wegen der ausserordentlich kurzen Dauer der Entladung.

Da der Magnetismus mit einer Moleculartorsion, ebenso wie die elektrischen Zustände einer geladenen Leydener Flasche mit elastischen Verschiebungen grosse Aehnlichkeit zeigen, so liegt es nahe, anzunehmen, dass solche rapide Einwirkungen eine Torsion bald in dem einen, bald im andern Sinne hervorbringen können, und dadurch entsteht entgegengesetzte Magnetisirung der Nadeln durch dieselbe Entladung.

Weiches Eisen magnetisirt sich dem entgegen nach Marianini's Versuchen stets nur in einem bestimmten Sinne durch eine Entladung in bestimmter Richtung. Nachdem man gefunden, dass jeder von einem Strom durchflossene Leiter sich wie ein temporärer Magnet verhalte, machte Faraday 1830 seine berühmte Entdeckung der inducirenden Wirkung eines vom Strom durchflossenen Leiters in einem benachbarten Leiter. Ist derselbe geschlossen, entsteht gleichfalls ein Strom beim

Schluss des primären Stromes. Der secundäre hat dann die entgegengesetzte Richtung des primären.

Ist er aber offen, so entsteht blos eine Spannung, welche mit einem Elektrometer an den beiden Enden des secundären Leiters nachweisbar ist. Beim Oeffnen des primären Schliessungsleiters, bei der Stromunterbrechung, entsteht ein dem primären gleichgerichteter Strom, welcher durch den geschlossenen Leiter fliesst; ist die Leitung unterbrochen, zeigen seine Enden die entgegengesetzten elektrischen Spannungen, wie im vorigen Falle. Dies lässt sich mit dem schon 1836 von Aimé hergestellten Apparate nachweisen. Eine Glasplatte, statt der besser eine Ebonitscheibe angewendet wird, ist mit unterbrochenen Zinnstreifen auf beiden Seiten beklebt. Wird die Entladung einer Leydener Flasche durch eine dieser Belegungen geleitet, so sieht man auf der andern Seite ebenfalls Funken über die Trennungsstellen der Zinnfoliestreifen überschlagen.

Statt dessen kann man zwei Drahtspiralen an beiden Seiten der Scheibe anbringen, deren inneres Ende zu der einen Entladerkugel, das äussere zur zweiten geführt ist. Entladet man eine Leydener Flasche, und verbindet die Enden der andern Spirale mit Handhaben, so geht der inducirte Strom durch die in der Hand gehaltenen Handhaben, man fühlt einen elektrischen Schlag.

Man kann auch mehrere solche Scheiben hintereinander stellen und findet an jeder den Inductionsstrom, wenn durch eine derselben eine Leydener Flasche entladen wird.

Bei diesem Versuche wird die zweite Spirale einen entgegengesetzten Strom wie die erste, die dritte einen gleichgerichteten u. s. w. zeigen, also die in der Reihen-

folge geraden einen entgegengesetzten, die ungeraden abe
einen gleichgerichteten geben.

Verdet und Henrici haben durch die Polarisation
welche die in angesäuertes Wasser getauchten Draht
enden der Spiralen nach der erfolgten Induction durc
Zersetzung des Wassers und Ablagerung von Wasser
stoff und Sauerstoff an den Platindrahtenden erzeuge
diese verschiedenen Stromrichtungen bei mehrfacher In
duction zweifellos nachgewiesen.

Je grösser die elektrische Energie der Entladung i
der primären Spirale, desto grösser fand sich die Polar
sationswirkung an den Spiralen, und nimmt selbe bei de
entfernteren immer mehr und mehr ab.

Verdet wies dies nach, indem er die Entladun
der inducirten Spirale durch Platinplatten in eine Jod
kaliumlösung gehen liess und rasch die Platten nach e
folgter Entladung mit einem Galvanometer verband. De
Strom hatte die entgegengesetzte Richtung der primäre
Entladung und war sehr kräftig, wenn auch nur vo
kurzer Dauer.

Reines Wasser gab ebenfalls einen jedoch etwa 40
bis 60mal schwächeren Strom als die Jodkaliumlösung

Es gelten also alle Gesetze der Induction, wie si
Faraday für continuirliche Ströme nachgewiesen hat
auch für die Entladungsströme der Spannungselektricität

Elektrische Einheiten.

Mass-Einheiten, welche zu elektrischen Messungen dienen.

I. Die absoluten oder C. G. S. (Centimeter-Gramm-Secunde-) Einheiten.

1. Längeneinheit: 1 Centimeter.

2. Zeiteinheit: 1 Secunde.

3. Krafteinheit. Die Krafteinheit ist diejenige Kraft, welche für eine Secunde lang auf eine frei bewegliche Masse von dem Gewichte eines Grammes wirkend, dieser Masse eine Geschwindigkeit von 1 Centimeter per Secunde verleiht.

4. Die Arbeitseinheit ist die Arbeit, welche von der Krafteinheit verrichtet wird, wenn dieselbe die Entfernung von 1 Centimeter zurücklegt. Diese Einheit ist in Paris = 0·00101915 Centimeter-Gramm, oder mit anderen Worten, um das Gewicht eines Grammes einen Centimeter hoch zu heben, sind 980.868 Krafteinheiten nöthig.

5. Die Einheit der elektrischen Quantität ist diejenige Quantität von Elektricität, welche auf eine gleich grosse Quantität, die einen Centimeter weit entfernt ist, eine Kraft gleich der Krafteinheit ausübt.

6. Die Einheit des Potentials oder der elektromotorischen Kraft existirt zwischen zwei Punkten, wenn die Einheit der elektrischen Quantität bei ihrer Bewegung von dem einen Punkte zum andern die Krafteinheit gebraucht, um die elektrische Abstossung zu überwinden.

7. Die Widerstandseinheit ist die Einheit, welche nur einer Quantitätseinheit den Uebergang zwischen zwei Punkten, zwischen welchen die Potentialeinheit existirt, in einer Secunde gestattet.

II. Die sogenannten **praktischen** Einheiten für elektrische Messungen.

1. Weber, Einheit der magnetischen Quantität $= 10^8$ C. G. S. Einheiten
2. Ohm,[1]) » des Widerstandes $= 10^9$ » »
3. Volt,[2]) » der elektromotor. Kraft $= 10^8$ » »
4. Ampère,[3]) » » Stromstärke $= 10^{-1}$ » »
5. Coulomb,[4]) » » Quantität $= 10^{-1}$ » »
6. Watt [5]) » » Kraft $= 10^7$ » »
7. Farad, » » Capacität $= 10^{-9}$ » »

[1]) 1 Ohm ist gleich 1·0493 Siem. Einh. und etwa gleich dem Widerstande von 48·5 Meter reinen Kupferdrahtes von einem Durchmesser von 1 Mm. bei einer Temperatur von 0° Celsius.

[2]) Ein Volt ist 5—10% weniger als die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes.

[3]) Der Strom, welcher durch die elektromotorische Krafteinheit die Widerstandseinheit in einer Secunde zu durchfliessen im Stande ist, ist = 1 Amp.

[4]) Coulomb heisst jene Quantität der Elektricität, welche per Secunde ein Ampère giebt.

[5]) 1 Watt = Ampère × Volt. 1 H. P. (horse power) $= \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt}}{746}$
1 Cheval de vapeur $= \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt.}}{735}$ = P. S. (Pferdestärke.)

Widerstands-Einheiten.*)

Name der Einheit	CS^{-1}	Ohm	Siemens	Deutsche Meile Draht 4 mm	Franz. Meile Draht 7 mm	Engl. Meile Kupferdr. 1·6 mm
CS^{-1}	1	10^{-9}	$1,05 . 10^{-9}$	$18 . 10^{-12}$	$105 . 10^{-12}$	$74 . 10^{11}$
Ohm	10^9	1	1,05	0,018	0,105	0,074
Siemens	$95 . 10^7$	0,95	1	0,017	0,1	0,071
Deutsche Meile	$57 . 10^9$	57	60	1	6	4,26
Franz. Meile	$95 . 10^8$	9,5	10	0,17	1	0 71
Engl. Meile	$13414 . 10^6$	13,414	14,12	0,235	1,41	1

Strom-Einheiten.*)

Name der Einheit	CGS	Ampère	Daniell-Siemens	Jacobi per Min.	Silber mg. per Min.	Engl. mg. per Min.
CGS	1	10	8·5	105·2	676·5	198·6
Ampère	0·1	1	0·85	10·52	67·65	19·86
Daniell : Siemens	0·117	1·17	1	12·31	78·95	23·23
Jacobi	0·958	0·095	0·082	1	6·4	1·89
Silber mg.	0·148	0·015	0·013	0·156	1	0·294
Kupfer mg.	0·502	0·05	0·013	0·529	3·41	1

*) Uppenborn, IV. B. 7.

Index.

Die atmosphärische Elektricität.

Von **Luigi Palmieri.**

[illegible] Zustimmung des Verfassers aus dem Italienischen übersetzt

von **Heinrich Discher,**
k. k. Telegraphen-Official.

[illegible] 8 Abbild. 4 Bog. Oct. Geh. Preis 50 kr. = 1 M.

[illegible]ektrische Erscheinungen u. Theorien.

[illegible]rzer Abriss eines Curses von sieben Vor[illegible]ungen, abgehalten in der Royal Institution of Great Britain

von **John Tyndall.**

[illegible]it des Autors Bewilligung in's Deutsche übertragen

von **Joseph v. Rosthorn.**

[illegible] Bog. Oct. Eleg geb. Preis 1 fl. = 1 M. 80 Pf.

Das elektrische Potential

oder

Grundzüge der Elektrostatik.

Von **A. Serpieri,**
Prof. d. Physik a. d. Universität u. d. Lyceum zu Urbino.

Aus dem Italienischen in's Deutsche übertragen

von **Dr. R. v. Reichenbach.**

Autorisirte Ausgabe. Mit 44 Abbild. 16 Bog. Oct. Geh. Preis 1 fl. 65 kr. = 3 M.

Vorträge über Elektricität.

Von **John Tyndall.**

Mit des Autors Erlaubniss in's Deutsche übertragen

von **Joseph v. Rosthorn.**

Mit 58 Abbild. 10 Bog. Oct. Eleg. geb. Preis 1 fl. 20 kr. = 2 M. 25 Pf.

Die physikalischen Grundsätze

der

ELEKTRISCHEN KRAFTÜBERTRAGUNG.

Eine Einleitung in das Studium der Elektrotechnik

von **Josef Popper.**

Mit einer Figurentafel. 4 Bogen. Gross-Octav. Geheftet. Preis 80 kr. = 1 M. 50 Pf.

ZEITSCHRIFT FÜR ELEKTROTECHNIK.

Herausgegeben vom Elektrotechnischen Verein in Wien.

Redaction: **J. Kareis.**

Jährlich 24 Hefte à 2 Bogen Gross-Octav, mit vielen Illustrationen. II. Jahrgang 18..

Pränumerationspreis 8 fl. = 16 M. per Jahrgang. Halbjährlich 4 fl. = 8 M.

Jeden Monat werden zwei Hefte, Mitte und Ende, ausgegeben. Der Bezug kann durch alle Buchhandlungen (Beträge mit Postanweisung) und die Postämter des In- und Auslandes erfolgen.

Der erste Jahrgang dieser Zeitschrift kostet 8 fl. = 16 M.

Internationale elektrotechnische Zeitschrift

und Bericht über die

ELEKTRISCHE AUSSTELLUNG

im Jahre 1883.

Redaction:

Josef Krämer,

Ingenieur, Telegraphen-Vorstand der Kaiser Franz Joseph-Bahn in Wien,

und

Dr. Ernst Lecher,

Assistent am physikalischen Laboratorium der Universität in Wien.

400 Seiten Quartformat. Mit 500 Abbildungen und einem Plane der Ausstellung.

Elegant gebunden. Preis 6 fl. = 12 M.

A. Hartleben's

Verzeichniss der neuesten Erscheinungen aus dem Gebiete der

ELEKTRICITÄT, ELEKTROTECHNIK, PHYSIK, CHEMIE UND MECHANIK,

der gebräuchlichsten technologischen Sprach-Wörterbücher und der gelesensten Fachzeitschriften und periodisch erscheinenden Werke.

Geheftet. Preis 80 Kr. = 1 M. 50 Pf.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustr. Bänden, geh. à 1 fl. 65 kr. ö. W. = 3 Mark = 4 Fr. = 1 R. …
elegant gebunden à 2 fl. 20 kr. ö. W. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. …

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrisch… schinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonder… sicht auf ihre Construction. 4. Aufl. Von Gustav Glaser-…

II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anw… der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und V… des elektrischen Stromes. 2. Aufl. Von Eduard Japing.

III. Band. Das elektrische Licht. 2. Aufl. Von Dr. A. von Ur…

IV. Band. Die galvan. Batterien, mit besond. Rücksicht auf i… und ihre Anwendungen in der Praxis. 2. Aufl. Von Wilh. P…

V. Band. Die Verkehrs-Telegraphie der Gegenwart, mit … Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack.

VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit beson… sicht auf ihre Anwend. in der Praxis. 2. Aufl. Von Theodor S…

VII. Band. Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetall-Ge… mit besond. Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. 2. Aufl. v. …

VIII. Band. Die elektrischen Mess- und Präcisions-Inst… Mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. 2. Aufl. Von …

IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besondere… auf ihre Anwendungen in der Praxis. 2. Aufl. Von Wilh. P…

X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, ent… elektr. Terminologie in deutsch., franz. u. engl. Sprache. Von Prof. …

XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen. 2. … Dr. A. von Urbanitzky.

XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenba… das Signalwesen. Von L. Kohlfürst.

XIII. Band. Die elektrischen Uhren und die elektrisch… wehr-Telegraphie. Von Prof. Dr. A. Tobler.

XIV. Band. Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter.

XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärisch… Von Dr. Fr. Waechter.

XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlag… Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias.

XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baue… triebes. Von Josef Krämer.

XVIII. Band. Die Elektro-Technik in der praktischen H… Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski.

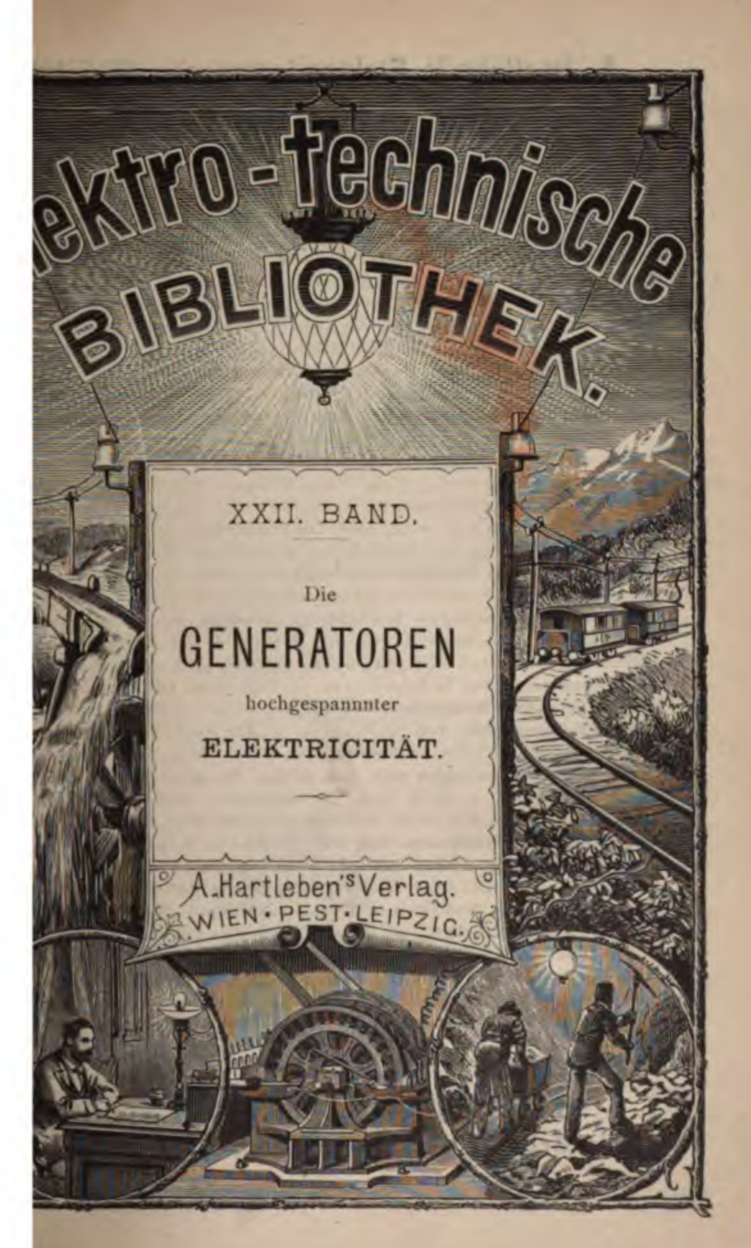
XIX. Band. Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, W… und technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Ze…

XX. Band. Die Weltliteratur der Elektricität und des M… mus, 1860 bis 1883. Mit einem Sachregister. Von Gustav …

XXI. Band. Die Motoren der elektrischen Maschinen mit … Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwar…

XXII. Band. Die Generatoren hochgespannter Elektrici… Prof. Dr. J. G. Wallentin.

XXIII. Band. Das Potential und seine Anwendungen bei der … elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. U. s. w.


ektro-technische
BIBLIOTHEK.
XXII. BAND.
Die
GENERATOREN
hochgespannnter
ELEKTRICITÄT.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

DIE GENERATOREN

hochgespannter Elektricität

mit vorwiegender Berücksichtigung

der Elektrisirmaschinen im engeren Sinne.

Von

Dr. Ignaz G. Wallentin,

k. k. Professor.

Mit 75 Abbildungen.



WIEN, PEST, LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1884.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Vorwort.

Im vorliegenden Werke wurde jenen Apparaten, die zur
rzeugung stark gespannter Elektricität verwendet wer-
n, besondere Aufmerksamkeit geschenkt und es wurde
ren Construction und Wirkungsweise ausführlich dar-
stellt. Die Beschreibung der mannigfaltigen Anwen-
ngen stark gespannter Ströme konnte an dieser Stelle
ergangen werden, da in einigen vorhergehenden Bänden
eser Sammlung von denselben eingehend gesprochen
urde.

Wenn auch die Elektricität hoher Spannung in der
ektrotechnik viel seltener zur Anwendung gelangt,
s jene niederer Spannung, so verdienen dennoch die
orrichtungen, durch welche man in Stand gesetzt wird,
stere zu erzeugen, in einem elektrotechnischen Gesammt-
erke gründliche Würdigung, da sie viele Gesichts-
nkte eröffnen, die beim Studium der elektrischen
rscheinungen belangreich sind. Die Geschichte der Ent-
icklung der Elektrisirmaschinen ist so recht geeignet
n Fortschritt in der Verwendung der elektrischen Natur-
äfte zu illustriren.

In der vorliegenden Schrift wurden die Reibungs-
lektrisirmaschinen und Influenzmaschinen am
sführlichsten, sowohl was ihre Construction, als auch

ihre Wirkungsweise betrifft, beschrieben. In die Classe der Influenzmaschinen wurden auch mehrere Instrumente aufgenommen, die weniger zur Erzeugung hoher Spannung, als vielmehr zu elektrometrischen Versuchen dienen. Man wird aber die Berücksichtigung dieser Apparate wegen der principiell grossen Aehnlichkeit derselben mit den meisten Influenz-Elektrisirmaschinen gerechtfertigt finden. Von weiteren Generatoren hochgespannter Elektricität wurden die Funkeninductoren und die rheostatische Maschine von Planté ins Auge gefasst.

Die zum Verständnisse der vorliegenden Schrift wichtigen Begriffe der theoretischen Elektricitätslehre wurden in der Einleitung erläutert.

Der Verfasser wünscht durch Veröffentlichung dieser Schrift, in der man die ziemlich ausgedehnte Literatur über die Elektrisirmaschinen gesammelt findet und in welcher auf die modernen Apparate und Anschauungen die gebührende Rücksicht genommen wurde, einem wahren Bedürfnisse abgeholfen zu haben.

Dr. J. G. Wallentin.

Inhalt.

Illustrations-Verzeichniss.

Index.

Namenverzeichniss.

Einleitung.

Unterschied zwischen hochgespannter Elektricität und Elektricität niederer Spannung.

Unter jenen Grössen, welche in der wissenschaftlichen und praktischen Elektricitätslehre gemessen werden müssen, kommt der elektrischen Spannung eine bedeutende Rolle zu. Bekanntlich verbreitet sich die auf einem Conductor im Gleichgewichte befindliche Elektricität derart, dass sie nur an der Oberfläche des Leiters ihren Sitz einnimmt, im Innern des letzteren jedoch keinerlei Elektricität anzutreffen ist. Betrachten wir nun die auf einem kleinen Flächenstückchen des Leiters befindliche Elektricitätsmenge, so wird dieselbe von den Elektricitätsquantitäten, die in den anderen Stellen der Oberfläche des Leiters sich vorfinden, Repulsionen erfahren, und sie hat daher das Bestreben, in der zur Oberfläche in diesem Punkte senkrechten Richtung sich zu entfernen; diese Kraft, also das Streben der Elektricität von der Leiteroberfläche sich loszumachen, bezeichnet man nach dem Vorgange der englischen Elektriker (Maxwell, Thomson u. A.) mit dem Namen Spannung der Elektricität.

Eine verhältnissmässig sehr einfache Rechnung lehrt, dass die eben definirte Spannung der Elektricität in einem Punkte der Oberfläche eines Leiters dem Quadrate der elektrischen Dichte in diesem Punkte, d. h. der Elektricitätsmenge, welche sich auf einer Flächeneinheit, die den betrachteten Punkt umschliesst, vorfindet, proportional ist; wird somit die elektrische Dichte zwei-, drei-, viermal grösser, so wird die elektrische Spannung vier-, neun-, sechzehnmal grösser.

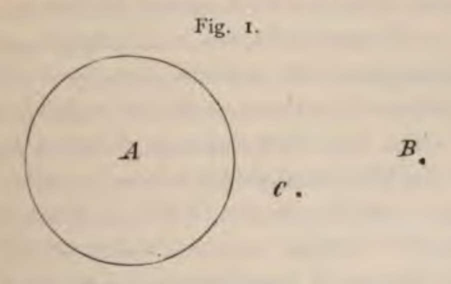
Dass der oben aufgestellte Begriff der elektrischen Spannung nicht allgemein acceptirt wurde, beweist der Umstand, dass man in manchen Schriften die Dichte der an einer bestimmten Stelle des Leiters angehäuften Elektricität als Spannung der letzteren in diesem Punkte bezeichnet findet. Zuweilen nennt man auch das elektrische Potential an einer Stelle des Conductors elektrische Spannung, mitunter auch wird eine Potential-Differenz, ein Potentialgefälle, so genannt. Die mathematische Theorie der Elektricität lehrt, dass die Eingangs definirte Spannung mit der Potential-Differenz in dem betrachteten Punkte des Leiters und einem demselben unendlich benachbarten Punkte, der auf der zur Oberfläche in diesem Punkte gezeichneten Normalen liegt, in dem Zusammenhange steht, dass einem Wachsen dieser Potential-Differenz eine Zunahme der Spannung entspricht.

Wir haben an dieser Stelle den Ausdruck »Potential« zu wiederholten Malen gebraucht. Der Begriff des »elektrischen Potentiales«, der zur Präcisirung der elektrischen Phänomene in hohem Masse beigetragen hat, ist von grosser Wichtigkeit und er wird uns im weiteren Verlaufe dieser Schrift oft von bedeutendem

Nutzen sein. Dieser Umstand mag die nachfolgende kleine Abschweifung von unserem eigentlichen Thema rechtfertigen.

Nehmen wir an, der Körper A (Fig. 1) sei etwa positiv elektrisch und er sei von allen anderen Körpern unendlich weit entfernt. Bringen wir gegen den Körper A etwa in die Lage B eine positive elektrische Masseneinheit, d. h. eine solche, welche auf eine gleich grosse in der Entfernung von 1 cm. befindliche eine Kraft ausübt, die gleich der

Fig. 1.



Einheit ist, die also im Stande wäre, der Masse eines Grammes*) in einer Secunde die Geschwindigkeit von 1 cm. zu ertheilen, so wird der elektrische Körper A den Körper B immer weiter und weiter abstossen, bis er sich in der Unendlichkeit verlieren würde. Um das Elektricitätstheilchen B an den Körper A zu führen, müssen wir eine Arbeit entgegen den abstossenden Kräften, die zwischen den beiden elektrischen Körpern herrschen, leisten, und umgekehrt wird das Theilchen B, wenn es

*) Nach neueren Festsetzungen wählt man als Elektricitätseinheit jetzt ungefähr $\frac{1}{300000.10^6}$ der oben angegebenen Einheit, welche man dann nach dem berühmten französischen Physiker 1 Coulomb nennt.

sich allein überlassen wird, bei seiner Bewegung von A weg eine Arbeit leisten. Wenn man das elektrische Theilchen von einer Position B in eine zweite dem Körper A nähere Lage C bringt, so ist die bei dieser Bewegung verbrauchte Arbeitsgrösse nur von der Anfangs- und Endposition des Theilchens abhängig, gänzlich unabhängig aber von dem Wege, auf welchem die Ueberführung von B nach C stattfand. Die Kräfte nämlich, welche zwei elektrische Körper auf einander ausüben, sind ausser von den auf diesen Körpern vorhandenen Elektricitätsmengen nur von der Distanz der Körper abhängig, und bei derartigen Kräften herrscht das eben angegebene Gesetz — wie eine genauere mathematische Erörterung lehrt.

Man nennt jene Arbeitsmenge, welche man leisten muss, um die Elektricitätseinheit von der Unendlichkeit her entgegen den Kräften, welche auf dieses Theilchen von A ausgeübt werden, in einen bestimmten Punkt, der in dem den Körper A umgebenden Raume sich befindet, zu bringen, das Potential des elektrischen Körpers in diesem Punkte. Es ist begreiflich, dass die erwähnte Arbeit um so grösser sein wird, je näher an den Körper A das Elektricitäts-Einheitstheilchen gebracht wird; je näher somit ein Punkt dem elektrisirten Körper A liegt, desto grösser ist das Potential des letzteren in diesem Punkte und umgekehrt.

Denken wir uns alle jene Punkte, welche einen bestimmten Potentialwerth besitzen, durch eine Fläche verbunden, die den elektrisirten Körper umgibt, so nennt man eine solche Fläche eine aequipotentiale oder Niveaufläche. Sie ist dadurch ausgezeichnet, dass eine Verrückung eines Elektricitätstheilchens, die in dieser

Fläche stattfindet, ohne Arbeitsleistung ausgeführt werden kann. Man kann sich um den elektrisirten Körper A unendlich viele Niveauflächen denken, die, ohne sich irgendwo zu durchschneiden, den Körper concentrisch umgeben. Die Niveauflächen, welche sich nahe dem Körper A befinden, entsprechen in dem ins Auge gefassten Falle einem höheren Potentialwerthe, als jene, welche von A weiter entfernt sind. Die Elektricitätseinheit, welche wir oben betrachteten, wird von einer Niveaufläche hohen Potentiales zu einer nächst liegenden übergehen, auf welcher das Potential einen kleineren Werth hat, und zwar erfolgt der Uebergang auf dem kürzesten Wege, d. h. in einer im Allgemeinen krummen Bahn, welche auf beiden Niveauflächen senkrecht steht. Das von A abgestossene Elektricitätstheilchen beschreibt eine Bahn, der man den Namen Kraftlinie gegeben hat.

Es ist jetzt leicht, den Begriff des Potentialgefälles, welches — wie oben erwähnt — sehr oft Spannung bezeichnen wird, aufzustellen. Ist z. B. das Potential auf einer Niveaufläche V, an einer zweiten der ersten unendlich benachbarten vom Körper A entfernteren V', ist ferner der senkrechte Abstand der beiden Flächen E, so ist das Potentialgefälle:

$$F = \frac{V - V'}{E}.$$

Gerade wie man von einem Wassergefälle in der Hydraulik spricht, bedient man sich des Ausdruckes »Potentialgefälle« in der Elektricitätslehre.

Ferner ist jederzeit festzuhalten, dass das Potential einen positiven Werth hat, wenn die von dem elektrischen Systeme — das oben Gesagte lässt sich nämlich

unschwer auf einen Complex elektrischer Körper übertragen — auf die in dem gedachten Punkte befindliche positive Elektricitätseinheit ausgeübte Wirkung während der Bewegung der letzteren eine abstossende ist. Ist das Entgegengesetzte der Fall, so hat das Potential einen negativen Werth; es ist nämlich dann die Bewegung, welche man sich bei der Bestimmung des Potentialwerthes vorzustellen hat, der Kraftwirkung entgegengesetzt. Leicht einzusehen ist es, dass das Potential eines elektrisirten Systemes in der Unendlichkeit den Werth Null besitzt. Aus dem Erörterten ist ebenfalls ohne Mühe zu erkennen, dass ein positives elektrisches Theilchen, sich selbst überlassen, von Stellen höheren Potentiales an Stellen niedrigeren Potentiales wandert, während ein negatives Theilchen den entgegengesetzten Weg einschlagen würde.

Man kann auch von dem Potential innerhalb eines elektrisirten Körpers sprechen. In einem im elektrischen Gleichgewichte befindlichen Leiter muss das Potential durchaus denselben Werth besitzen, denn wäre dies nicht der Fall, so würde die Elektricität in Folge der Potentialgefälle nicht in Ruhe sein. Alle Elektricität befindet sich in einem Leiter an der Oberfläche desselben, diese wird eine Niveaufläche sein, auf der das Potential einen bestimmten Werth hat. Der letztere — nennen wir ihn V — hängt mit der dem Körper mitgetheilten Elektricitätsmenge M durch folgende Beziehung zusammen:

$$M = V \cdot C.$$

Die in dieser Gleichung vorkommende Grösse C stellt die Elektricitätsmenge dar, welche der Körper besitzen muss, um das Potential Eins zu erlangen, und wird die elektrische Capacität des betreffenden Körpers

genannt. Diese Grösse ist wesentlich von der Gestalt des Körpers, aber auch von der Gestalt und Lage der denselben umgebenden anderen Körper abhängig. Wir werden im weiteren Verlaufe unserer Auseinandersetzungen öfters diesen Begriff zu Hilfe nehmen müssen.

Wir können den absoluten Werth des Potentials nicht angeben. Glücklicherweise hat man es bei Betrachtung der elektrischen Erscheinungen nur mit Potential-Differenzen zu thun. In der mathematischen Theorie der Elektricität bildet das Potential eines Systemes in einem unendlich fernen Punkte den Ausgangspunkt der Vergleichung oder den Nullpunkt in der Potentialscala; bei experimentellen Arbeiten bringt man das Potential eines Körpers gewöhnlich in Bezug auf das Potential der Erde oder eines mit derselben in leitender Verbindung stehenden Gegenstandes, welches man dann als Nullpunkt wählt.

Zur Vergleichung von Potentialen bedient man sich unter anderen Instrumenten der sogenannten Quadranten-Elektrometer, wie sie von Thomson, Branly, Mascart und anderen Physikern construirt wurden. Mittelst eines solchen Elektrometers können wir leicht die Frage studiren, inwieferne hoch- und niedergespannte Elektricitäten sich in ihren Wirkungen unterscheiden. Deshalb wollen wir in aller Kürze auf die Einrichtung und den Gebrauch eines derartigen Messinstrumentes eingehen; wir wollen hierbei das oft zu Vorlesungsversuchen angewendete Quadranten-Elektrometer von Stöhrer (Fig. 2) vor Augen haben. An zwei Fäden hängt eine biscuitförmige Aluminiumnadel und kann sich in horizontaler Ebene in einem flachen, cylindrischen

Fig. 2.

Messingkasten, der in der Mitte der oberen und unteren Fläche kreisförmige Oeffnungen hat und in vier Quadranten getheilt ist, von denen je zwei diametral gegenüberstehen und leitend verbunden sind, bewegen. Von zwei nebeneinanderstehenden Quadranten gehen Metallstäbchen aus, die den Deckel des Apparates durchsetzen und zur Zuleitung oder Ableitung von Elektricität dienen. Die Fäden, an welche die Nadel befestigt ist, können durch einen am oberen Theile des Apparates ersichtlichen Knopf gedreht werden und hiermit die Nadel selbst. Durch einen Platinstab, welcher die Nadel in ihrer Mitte durchsetzt und unten in ein Gefäss mit concentrirter Schwefelsäure taucht, kann der Nadel Elektricität und zwar mittelst eines zweiten Stäbchens, welches in *C* endigt und ebenfalls in die Schwefelsäure taucht, mitgetheilt werden. Gleichzeitig werden die Schwingungen der Nadel durch die in der Flüssigkeit vor sich gehende Bewegung eines Theiles des Platindrahtes, an dem oft Querdrähte angebracht sind, gedämpft. Die Nadel trägt auf ihrer Axe einen Spiegel, welcher z. B. das Bild eines hellen Spaltes, einer feinen Lichtlinie, auf einer horizontal befestigten Scala entwirft; das Wandern dieser Lichtlinie auf der Scala deutet auf eine Bewegung der Nadel hin, und es kann die Grösse der Ablenkung der letzteren mit grosser Genauigkeit bestimmt werden.

Will man mittelst dieses Apparates Potentiale vergleichen, so bringt man die Nadel auf ein Potential, das man durch geeignete Mittel constant zu erhalten sucht. So kann man die Nadel etwa in der Weise laden, dass man mit ihr den einen Pol einer Zamboni'schen Säule

in leitende Verbindung bringt, während der andere Pol derselben zur Erde abgeleitet ist. Ist die Nadel, bevor sie noch geladen war, in der Trennungslinie der beiden (in der Figur links vorne und rückwärts gezeichneten) Quadranten in Ruhe gewesen, so wird das nach der Ladung der Nadel noch immer der Fall sein, da sie zu den vollkommen unelektrischen Quadranten symmetrisch liegt. Verbindet man aber das eine Quadrantenpaar leitend mit der Erde (indem man z. B. einen Draht von der Elektrode A zu den Gasleitungsröhren führt) und theilt dem anderen Quadrantenpaare die auf ihr Potential zu untersuchende Elektricität durch Berühren der Elektrode B mit, so wird die Nadel abgelenkt werden, mit ihr der Spiegel, und die Lichtlinie wird vom Nullpunkte der Scala gegen einen anderen Punkt derselben vorrücken. Die Ablenkung der Nadel ist, wenn sie nicht sehr bedeutend ist, der Potential-Differenz der beiden Quadrantenpaare oder — da der eine von ihnen auf das Potential der Erde, welches wir als Nullpunkt in der Potentialscala wählen, gebracht ist — dem Potential der untersuchten Elektricitätsquelle proportional.

Wenn wir z. B. das Potential des eines Poles eines Daniell'schen Elementes finden wollen, so bringen wir diesen Pol in leitende Verbindung mit dem einen Quadrantenpaare, während das andere zur Erde abgeleitet ist; die Lichtlinie wird aus ihrer Ruhelage um einige Scalentheile ausweichen. Man wird sehr leicht den Unterschied constatiren können, welcher in dem Potentialwerthe des Poles auftritt, wenn der andere Pol des Elementes isolirt oder zur Erde abgeleitet ist;

im letzteren Falle wird nämlich die Lichtlinie um eine doppelt so grosse Anzahl Theilstriche aus ihrer Ruhelage gerathen, als im ersten Falle, es ist also das elektrische Potential dieses Poles doppelt so gross, als im ersten Falle, was in Uebereinstimmung mit dem bekannten Gesetze der Erhaltung der Potential-Differenz sich befindet.

Reiben wir nun eine Glasröhre nur wenig mit einem Tuch und bringen die erstere an die Elektrode des ersten Quadrantenpaares, so bemerken wir, dass die Lichtlinie mit grosser Geschwindigkeit aus ihrer Gleichgewichtslage wandert und zwar weit über die Scala, so dass sich die Ablenkung der Nadel nicht mehr schätzen lässt. Das deutet uns an, dass die geriebene Glasröhre ein ungleich höheres elektrisches Potential besitzt, als der untersuchte Pol des Daniell'schen Elementes. Die Potential-Differenz der geriebenen Glasröhre und eines beliebigen Körpers ist um vieles grösser, als die Potential-Differenz des Elementenpoles und desselben Körpers. In Folge dieser Verhältnisse besitzt die Elektricität auf der Glasröhre eine grössere Spannung, als jene des Poles des Daniell'schen Elementes ist, denn wir haben früher erörtert, dass die Spannung wächst, wenn die Potential-Differenz zunimmt. Wir nennen die Elektricität des geriebenen Glasstabes hochgespannte Elektricität, die Elektricität des Poles eines galvanischen Elementes aber Elektricität niederer Spannung. In der That hat erstere Elektricität das Bestreben, vom elektrisirten Körper sich zu entfernen, in hohem Grade, was bei der zweitgenannten Elektricität nicht der Fall ist. Wenn wir z. B. im Dunkeln der Glasröhre den

Fingerknöchel nähern, so sehen wir von ersterer einen Funken überspringen; bringen wir hingegen den Elementenpol dem Finger nahe, so werden wir die eben besprochene Erscheinung vermissen.

Wir sind im Stande, durch sogenannte Hintereinanderschaltung von Elementen immer grösser werdende Potential-Differenzen, also auch immer grössere elektrische Spannungen zu erzielen. So ist es bekannt, dass Warren de la Rue 11.000 Chlorsilber-Elemente zu seinen Versuchen in Anwendung brachte, durch welche er eine so grosse elektrische Spannung erzielte, dass ein continuirlicher Funkenstrom zwischen den Polenden stattfand. Doch wollen wir im Nachfolgenden von derartigen umständlichen und kostspieligen Versuchen, eine bedeutende elektrische Spannung zu erhalten, abstrahiren und nur jenen Apparaten unsere Aufmerksamkeit zuwenden, welche in erster Linie geeignet sind, bedeutende Quantitäten hochgespannter Elektricität zu erzeugen. Es gehören in diese Gruppe elektrischer Apparate zuvörderst die Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen, die grossen unter dem Namen Funkeninductoren bekannten Inductions-Apparate und die vor nicht langer Zeit von Gaston Planté construirte rheostatische Maschine, die als ein zur Umwandlung dynamischer Elektricität in hochgespannte Elektricität dienlicher Apparat ein besonderes theoretisches Interesse in Anspruch nimmt.

Es ist im Auge zu behalten, dass die Generatoren hochgespannter Elektricität, von denen wir nunmehr einige namhaft gemacht haben, an zwei Stellen entgegen-

gesetzte Elektricitäten erzeugen, deren Potential-Differenz sehr beträchtlich ist; werden diese Stellen mit einander leitend verbunden, so tritt eine Ausgleichung der Potentiale ein; es entsteht ein elektrischer Strom, in dem aber verhältnissmässig geringe Quantitäten von Elektricität mitgeführt werden. Anders jedoch z. B. in einem galvanischen Elemente; an den beiden Polen desselben sammeln sich Elektricitäten von entgegengesetzten Potentialwerthen an; die Potential-Differenz ist aber gering, hingegen werden in dem Strome, der zu Stande kommt, wenn man die beiden Pole leitend mit einander verbindet, viel grössere Mengen von Elektricität in Bewegung gesetzt, als in dem früheren Falle.

Wir wenden uns nun zur Beschreibung der am häufigsten in Verwendung stehenden Generatoren starkgespannter Elektricität, der Elektrisirmaschinen im engeren Sinne. Die Elektrisirmaschine hat im Laufe der Zeiten in ihrer Construction so mannigfache Wandlungen erfahren, Veränderungen, welche oft principieller Art waren, dass eine Darstellung der verschiedenen Constructionen dieser Maschine mit der Geschichte der letzteren innig verknüpft ist. Dass der Fortschritt in der Technik der Elektrisirmaschine in den letzten Jahren nicht so bedeutend, wie z. B. jener in der Technik der dynamoelektrischen Maschine ist, darf uns keineswegs befremden; die Lehre von der hochgespannten Elektricität ist ja um Vieles früher schon gepflegt worden, als jene von der dynamischen Elektricität; denn die ersten elektrischen Beobachtungen, welche von Thales um das Jahr 640 v. Chr. angestellt wurden, bezogen sich auf hochgespannte Elektricität. Kein

Wunder, dass wir diesen Zweig der Elektricitätslehre bis zum heutigen Tage besser überblickt und studirt haben, als das Gebiet der übrigen elektrischen Erscheinungen. Immerhin werden uns die mächtig wirkenden Influenzmaschinen, wie sie nach den Angaben Professor Töpler's construirt wurden, den Beweis liefern, welch ungeheure Kluft zwischen der Schwefelkugel Otto v. Guerike's und jener vollkommenen Maschine liegt.

I.

Ueber Elektrisirmaschinen.

a) Reibungs-Elektrisirmaschinen.

Geschichte der Maschine.

Während vor Otto v. Guerike gewöhnlich in der Weise Elektricität erzeugt wurde, dass man den Körper, durch dessen Reibung man Elektricität erhalten wollte, in der einen Hand hielt, während man ihn mit der anderen Hand rieb, hat der erwähnte verdienstvolle Forscher einen einfachen Apparat construirt, mit dem es möglich war, den zu elektrisirenden Körper rasch zu drehen und so viel grössere Elektricitäts-Quantitäten, als man früher je erzeugt hatte, hervorzurufen. Als zu elektrisirenden Körper benützte Guerike eine Schwefelkugel, durch welche er eine Axe steckte, mittelst der er sie in Rotation versetzte. Die trockene Hand, welche er an die gedrehte Schwefelkugel anlegte, bildete das zur Erde abgeleitete Reibzeug. Der primitive Apparat,

der trotz des Fehlens einiger wichtiger Organe, die unsere heutigen Reibungs-Elektrisirmaschinen aufweisen, immerhin als die erste Elektrisirmaschine angesehen werden kann und in Fig. 3 abgebildet ist, hat Guerike zu manchen folgenreichen Entdeckungen geleitet. — In ähnlicher Weise hat um viele Jahre später Hawksbee

Fig. 3.



eine hohle Glaskugel benützt, die er auf eine Axe steckte und mittelst einer Kurbel in Drehung versetzte, um ziemlich grosse Elektricitätsmengen durch Reibung der gedrehten Kugel an der Handfläche zu erzeugen. Er konnte dieser Glaskugelmaschine durch Nähern eines Fingers einen Funken von 1 Zoll Schlagweite entlocken, welcher ihm Zeugniss von der grossen elektrischen

Spannung des geriebenen Glases gab. Die Versuchsmethode von Hawksbee fand jedoch wenig Nachahmer, meist wurden noch lange Zeit hindurch Glasröhren verwendet, die mit der Hand gerieben elektrisch wurden.

Der Leipziger Professor der Mathematik und Physik, August Hansen, nahm, durch einen seiner Schüler angeregt, die Versuchsweise von Hawksbee wieder auf und construirte im Jahre 1743 einen Apparat, der dem des letztgenannten Physikers sehr ähnlich war und bei dem noch immer die menschliche Hand als Reibzeug Verwendung fand. Auf diese Maschine, die Hansen ausführlich beschrieb, wurde Mathias Bose, Professor der Physik in Wittenberg, aufmerksam gemacht, und er dachte daran, die Glaskugelmaschine zu vervollkommnen. Dies gelang ihm auch durch Hinzufügen eines Conductors, der aus einer an beiden Seiten offenen Röhre aus Eisenblech bestand, auf welche die Elektricität der geriebenen Kugel in Funken überging. Anfänglich wurde dieser Conductor von einem Menschen getragen, der auf einem Isolirschemel stand; erst später hing man die Blechröhre an Seidenschnüren auf. Immer noch wurde die menschliche Hand als Reibzeug der Glaskugel benützt. Für die Geschichte der Reibungs-Elektrisirmaschine wichtig ist auch die von Bose beobachtete, aber nicht verstandene Erscheinung, dass es von grossem Vortheile sei, den röhrenförmigen Conductor an dem der Kugel gegenüberstehenden Ende in ein Bündel von Metalldrähten ausgehen zu lassen. Wir werden an späterer Stelle sehen, dass man auch bei den neueren Reibungsmaschinen der geriebenen Glasscheibe gegenüber an dem Conductor

Spitzen befestigt, die einem besonderen, dann zu erörternden Zwecke dienen.

Nun ging es rasch mit der Vervollkommnung der Elektrisirmaschine vorwärts. Der Erfurter Ordenspriester Andreas Gordon benutzte statt der Glaskugel einen Glascylinder von 8 Zoll Länge und 4 Zoll Durchmesser, den er auf eigenthümliche Weise in Bewegung setzte. Wir werden die Cylindermaschinen noch öfters antreffen, sie wurden nebst den Kugelmaschinen bis über das Jahr 1756 gebraucht.

Wichtiger als diese Aenderung der Form des geriebenen Isolators ist die Erfindung des Reibzeuges, welche unter Anleitung des Leipziger Professors Johann Winkler durch den Drechsler Giessing erfolgte. Ein Wollkissen wurde entweder mittelst einer Schraube oder einer Metallfeder an die zu elektrisirende Glaskugel oder an den Cylinder gepresst. So war die Elektrisirmaschine im Jahre 1744, zu welcher Zeit Winkler eine Beschreibung der neuen Maschine gab, mit ihren Hauptorganen, dem Reibzeuge und dem Conductor ausgerüstet, und wurde zu vielen Versuchen, besonders zur elektrischen Zündung, gebraucht. Allerdings blieb an der damaligen Form der Elektrisirmaschine Vieles lange Zeit noch verbesserungsbedürftig.

Mit der Verbesserung und Vervollkommnung der Elektrisirmaschine, die, eine deutsche Erfindung, bald über die Grenzen des Heimatlandes nach Frankreich und England wanderte, beschäftigten sich viele hervorragende Gelehrte der beiden letzterwähnten Länder. Allerdings treffen wir da auch manchen Rückschritt. Der um elektrische Forschungen hoch verdiente Abt

Nollet benutzte als Reibzeug wieder die Hände. Die erzeugte Elektricität wurde mittelst metallischer Conductoren, die an Seidenschnüren befestigt waren, gesammelt. — Von Interesse ist die so ziemlich um dieselbe Zeit construirte Elektrisirmaschine von Watson, bei welcher vier übereinander stehende Glaskugeln gleichzeitig gedreht und von vier Kissen gerieben wurden; ein isolirter Conductor endigte in Stoffstreifen, welche die Kugeln berührten und zur Einsammlung der entstandenen Elektricität dienten.

Eine schon recht vollkommene Elektrisirmaschine in Form eines Glascylinders construirte Wilson ums Jahr 1752. Der Glascylinder wurde von einem unter demselben anliegenden langen Kissen gerieben. Die erzeugte Elektricität ging auf einen an seinen beiden Enden kugelförmig gewölbten Metallcylinder, der von Seidenfäden getragen war, über. Hier finden wir zum erstenmale einen vollkommenen Metallkamm; es war nämlich am Conductor ein verticaler Metallcylinder befestigt, der dem Glascylinder gegenüber in einen Kamm endigte.

Wenn wir noch der 1762 gemachten Entdeckung John Canton's, dass eine höhere Wirkung erzielt wird, wenn man das Reibzeug mit einem Zinn-Quecksilber-Amalgam, dem Kreide beigemischt war, bestreicht, und der Ueberkleidung des geriebenen Glascylinders mit Wachstaffet zum Zwecke der Vermeidung des Elektricitätsverlustes, welche von Noothe im Jahre 1773 vorgenommen wurde, Erwähnung thun, so haben wir alle wichtigen Momente in der Entwicklungsgeschichte der Elektrisirmaschine berücksichtigt, so weit wir es noch mit Cylindermaschinen zu thun hatten.

Auf Grund der im Laufe der Zeit gemachten Entdeckungen wurden nun Elektrisirmaschinen construirt, die schon Vortreffliches leisteten; so seien in dieser Beziehung die Maschine von Tiberio Cavallo (1777) und jene von Nairne erwähnt, deren Cylinder die Länge von 19 Zoll und den Durchmesser von 12 Zoll hatte und bei welcher der bekannten elektrischen Grunderscheinung, dass der reibende und geriebene Körper gleich grosse, aber entgegengesetzte Elektricitäten erhalten, insoferne Rechnung getragen wurde, dass auch das Reibkissen von einem isolirten Conductor getragen wurde und man so im Stande war, auch die Elektricität dieses Körpers zu sammeln. Die Maschine von Nairne, welche wir später im Detail beschreiben werden, lieferte Funken bis zu 35 cm. Länge.

Mit der Construction der Scheibenmaschine, bei welcher statt einer Glaskugel oder eines Glascylinders eine kreisförmige Glasscheibe angewendet wurde und welche die heute am meisten vertretene Form der Reibungsmaschine ist, beginnt eine neue Epoche in der Geschichte der Elektrisirmaschine. Wer die Glasscheibe zuerst einführte, ist nicht mit vollständiger Sicherheit zu eruiren. Sowohl der Pariser Arzt Sigaud de la Fond, als auch der englische Mechaniker Ramsden, ferner das berühmte Mitglied der Royal Society, Ingenhouss, der eine Scheibe von 15 Zoll in Anwendung brachte, stritten sich um die Priorität der Einführung der Scheibenmaschine. Nach mehreren Untersuchungen*) scheint aber Planta der erste Erfinder derselben (1755) zu sein.

*) Man sehe: Poggendorff, Geschichte der Physik, S. 849.

Die Scheibenmaschine wurde von diesem Zeitpunkte am meisten construirt, die Cylindermaschine trat immer mehr in den Hintergrund und die ursprüngliche Form der Elektrisirmaschine als Kugelmaschine ward ganz aufgegeben. In dem Bestreben, recht grosse und starkwirkende Scheibenmaschinen zu construiren, wetteiferten Forscher und Freunde der Wissenschaften der nächstfolgenden Zeit und wir wissen von derartigen Versuchen. So soll der bekannte Duc de Chaulnes eine Maschine besessen haben, die bei 5 Fuss Scheibendurchmesser Funken von 22 Zoll Länge lieferte. Eine noch grössere Maschine, welche wegen ihrer Dimensionen und starken Wirkungen geradezu eine Berühmtheit erlangte, ist die von dem englischen Mechaniker Cuthbertson für das Teyler'sche Museum in Harlem construirte Elektrisirmaschine, mit welcher der Vorsteher dieses Museums, van Marum, bemerkenswerthe Versuche anstellte. Diese Elektrisirmaschine hatte zwei Glasscheiben von ungefähr 80 Centimeter im Durchmesser, von denen eine jede von zwei Paar Kissen, die sich oben und unten befanden, gerieben wurde. Die Kissen hatten eine Länge von 15½ englischen Zoll und waren unter einander mit einem eigenen Conductor verbunden, der somit die auf ihnen angesammelte Elektricität empfing. Zwischen den beiden Scheiben, die eine Distanz von 7½ Zoll hatten, befand sich ein zur Erde abgeleiteter Doppelkamm. Die Maschine, welche erregt schon in grosser Entfernung auf ein Elektroskop wirkte, gab Funken von 24 Zoll.

Erwähnt sei noch in dieser geschichtlichen Skizze der Entwicklung der Elektrisirmaschine, dass man im vorigen Jahrhunderte auch Versuche mit Elektrisir-

maschinen machte, in denen das Glas durch andere Substanzen ersetzt war. So hat Walckiers in Paris um das Jahr 1784 eine Maschine benützt, in welcher ein Streifen Taffet ohne Ende, der mit einer öligen Substanz bestrichen und auf zwei Holzcylindern aufgerollt war, von denen der eine in drehende Bewegung versetzt wurde, sich befand. Der Taffetstreifen wurde von Katzenfell gerieben und die auf ersterem gesammelte Elektricität übertrug man auf einen mit Spitzen versehenen Metallcylinder, der sich zwischen den beiden Walzen inmitten des vom Taffetstreifen eingeschlossenen Raumes befand. Die erwähnte Maschine soll vorzügliche Wirkungen gehabt haben.

Aus dieser kurz gehaltenen Darstellung der Geschichte der Reibungs-Elektrisirmaschine ergibt sich, dass die Entwicklung derselben bis zu ihrer heutigen Construction sich nur langsam vollzog, dass das Verdienst der Vervollkommnung dieses bedeutendsten Apparates zur Erzeugung hochgespannter Elektricität einer grossen Zahl von namhaften Forschern zugeschrieben werden muss.

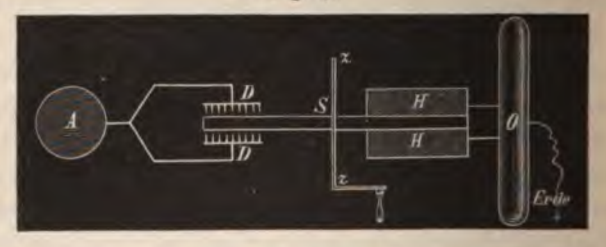
Bevor wir zur Beschreibung einiger wichtigeren Cylinder- und Scheiben-Elektrisirmaschinen übergehen, wollen wir im Nachfolgenden, von einem allgemeinen Schema ausgehend, die Wirkungsweise einer solchen Maschine des Näheren betrachten. Das an dieser Stelle zu Erörternde hat für alle später beschriebenen Reibungs-Elektrisirmaschinen in gleicher Weise Giltigkeit.

Wirkungsweise der Reibungs-Elektrisirmaschine.

Im Eingange zu den folgenden Betrachtungen wollen wir bemerken, dass bei der wechselseitigen Reibung zweier

verschiedener Körper zwischen denselben sich eine Potential-Differenz herstellt, die — wie die schönen Untersuchungen von Peclet ergaben — von der Grösse der in Berührung stehenden Flächen, von der relativen Geschwindigkeit und von dem gegenseitigen Drucke unabhängig ist, welch letzterer immer so gross sein muss, dass man von dem vollständigen Contacte der Flächen überzeugt sein kann. Dieses Gesetz, welches als Fundamentalgesetz gilt, hat die grösste Aehnlichkeit mit jenem Gesetze, welches Volta bezüglich der Berührung un-

Fig. 4.



gleichartiger metallischer Körper ausgesprochen hat. Es ist auch kaum daran zu zweifeln, dass die sogenannte Reibungselektricität Contactelektricität ist, und dass die Reibung nur den Zweck hat die Anzahl der Berührungsstellen der beiden Isolatoren zu vermehren.

In dem durch Fig. 4 angedeuteten Schema einer Elektrisirmaschine erblicken wir die wesentlichsten Bestandtheile derselben: 1. den geriebenen Isolator *S*; 2. das Reibzeug *H H*, welches mit einem Conductor *O* leitend verbunden ist; 3. den zur Sammlung der Elektricität dienlichen, isolirt aufgestellten und mit Saugspitzen *D* versehenen Conductor *A*. Wird nun der Isolator *S* (z. B.

eine Glasscheibe) gerieben, so entsteht zwischen ihm und dem Kissen eine Potential-Differenz, er enthält positive Elektricität, das Kissen negative Elektricität. Der Potential-Unterschied kann gering sein, nichts desto weniger werden die erzeugten Elektricitätsmengen im Allgemeinen bedeutend sein, weil die beiden sich berührenden Reibungsflächen einander sehr nahe liegen. So lange die geriebene Glasfläche und das Reibkissen in Berührung stehen, sind die Wirkungen der beiden entgegengesetzten Elektricitäten verschwindend klein. Sobald aber der geriebene Glastheil den reibenden Körper verlässt, so kommt die auf ersterem befindliche positive Elektricität zu voller Wirksamkeit, die Elektricität des Reibzeuges begibt sich in den Conductor *O*, der meist den Namen des negativen Conductors führt und gewöhnlich zur Erde abgeleitet ist, um eine Ausgleichung der immer stärker anwachsenden entgegengesetzten Elektricitäten zu vermeiden. Das mit positiver Elektricität von hoher Spannung bewegte Glas kommt bei seiner Drehung gegen den sogenannten positiven Conductor, der, wie aus Fig. 4 zu ersehen, mit vielen Metallspitzen in leitender Verbindung steht. Hier tritt nun die bekannte Spitzenwirkung auf; die positive Elektricität der Glasscheibe zieht die negative Elektricität des Conductors in die Spitzen, die positive wird in denselben zurückgestossen; erstere erlangt in den Spitzen eine ausserordentliche Spannung und strömt auf die Glasscheibe über, was sich durch den elektrischen Wind und das negative Glimmlicht bemerkbar macht. Es tritt nun eine Neutralisirung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten auf der Glasscheibe ein, während der Con-

ductor hochgespannte positive Elektricität besitzt. Bei
Zurückdrehen der Scheiben gegen das Reibzeug un
Reiben an demselben wiederholen sich die erwähnte
Phänomene.

Erwähnt sei an dieser Stelle, dass zuweilen — nach
dem das Glas die Saugspitzen verlassen hat — noch
negative Elektricität auf demselben mitgeführt wird, di
dann vom Reibzeug gleichsam abgewischt wird. Da
würde z. B. dann eintreten, wenn nur ein Kamm de
Scheibe gegenüberstehen würde, die Kissen aber — wi
in der schematischen Figur — vorhanden wären. Di
geriebene Glasscheibe besitzt beiderseits etwa eine Elek
tricitätsmenge E; beide Seiten derselben wirken influ
irend auf den Kamm und es wird aus diesem ein
negative Elektricitätsmenge auf die gegenüberliegend
Scheibenoberfläche strömen, die fast $-2E$ sein wir
und nach Neutralisirung der dort befindlichen $+E$ i
Ueberschusse vorhanden sein wird; man erkennt, das
die Glasscheibe auf beiden Seiten entgegengesetzt b
zeichnete Elektricitäten zum Reibzeuge zurückführt.

Es ist leicht zu ersehen, dass — wenn nur eine
Seite der Glasscheibe ein Saugkamm gegenübersteht -
die erzeugte Elektricitätsmenge fast dieselbe bleibt, a
wenn die Spitzen die Glasscheibe armförmig umgebe
Es wirken nämlich die beiden positiv elektrischen Seite
der Glasscheibe influirend auf den Metallkamm; die de
letzteren fernerstehende Seite allerdings in geringere
Grade, was aber bei der geringen Entfernungs-Differe
unberücksichtigt bleiben kann. Es würde somit die Wirku
auf den einzigen Kamm doppelt so gross sein, als a
einen von den zwei Kämmen, welche der Glasschei

beiderseits nahe stünden, die gelieferte Elektricitätsmenge wird in beiden Fällen nahezu dieselbe sein.

Die positive Elektricität der Glasscheibe wird also vom Reibzeug zum Kamme geführt, die aus letzterem ausströmende negative Elektricität neutralisirt entweder die positive Elektricität der Glasscheibe, oder wird gegen das Reibzeug zurückgeführt; es entsteht daher ein positiv-elektrischer continuirlicher Strom vom Reibzeug zum Kamm oder ein Strom von negativer Elektricität im entgegengesetzten Sinne. Die Intensität dieses Stromes ist von der elektrischen Dichte, von der Grösse der elektrisirten Oberfläche und von der in der Minute stattfindenden Umdrehungszahl abhängig. Man hat in der That gefunden, dass eine Lane'sche Massflasche,*) die mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden ist, sich bei einer und derselben Anzahl der Scheibenumdrehungen gleich oft entladet, dass die Anzahl der Entladungen in einer bestimmten Zeit sich um die Hälfte verkleinert, wenn man z. B. statt zwei Kissen nur eines anwendet, die geriebene Oberfläche also nur halb so gross wird.

Zuweilen spricht man auch von einer elektromotorischen Kraft der Reibungs-Elektrisirmaschine; man versteht darunter die Differenz der Potentiale am Kamm und am Reibzeug. Zufolge dieser Potential-Differenz müssen wir bei der Drehung der Scheibe vom Reibzeug gegen den Kamm eine grössere Arbeit leisten, als jene bei unelektrischen Verhältnissen wäre; wir müssen nämlich die elektrisirte Scheibe von Stellen niederen Potentiales

*) Man sehe »Die Grundlehren der Elektricität« u. s. w. von W. Ph. Hauck (Elektro-technische Bibliothek Bd. IX), Seite 42.

an Stellen höheren Potentials führen, und dieser Vorgang erfordert Arbeitsaufwand; mit anderen Worten, wir müssen die Anziehung zwischen dem negativ elektrischen Reibzeuge und der positiv elektrischen Glasscheibe bei der Drehung der letzteren überwinden. Es ist auch bekannt, dass das Drehen einer bereits elektrisirten Scheibe nicht ohne Mühe ist.

Fig. 5.



Verbindet man mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine ein sogenanntes Henley'sches Quadranten-Elektrometer, dessen Einrichtung aus folgender Figur (Fig. 5) ersichtlich ist, so bemerkt man, dass beim Drehen der Maschine das Kügelchen steigt, bald aber eine Stellung erreicht, welche es fortwährend beibehält, so lange man weiter dreht; es bleibt daher die elektrische Spannung constant und man kann die elektrische Ladung nicht ohne Grenze grösser werden lassen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, dass fortwährend Elektricitätsverluste durch die den Conductor umgebende Luft und die Stützen desselben stattfinden.

Auch wenn diese Verluste nicht stattfinden würden, würde die elektrische Spannung des Conductors eine Grenze erreichen; wird letztere nämlich zu gross, so werden direct zwischen den Kämmen und dem Reibkissen längs der Glasoberfläche elektrische Entladungen stattfinden, die sich im Dunkeln als schöne Feuercurven zeigen.

Wenn das Quadranten-Elektrometer einen constanten Stand anzeigt, so beweist dies, dass der in jedem Zeittheilchen eintretende elektrische Verlust gleich der in derselben Zeit dem Conductor zugeführten Elektricitätsmenge ist.

Mit dem Reibkissen sind Wachstaffetstücke oder Stücke aus dünner gelber gewöhnlich geölter Seide, die aussen lackirt sind, verbunden. Diese Stücke reichen bis nahe an die Saugkämme des Conductors und werden wie das Reibzeug beim Functioniren des Apparates negativ elektrisch, weshalb sie sich eng an die geriebene positiv elektrische Glasscheibe anlegen. Ihr Zweck wird aus Folgendem klar werden: Wenn keine solchen Taffetstücke vorhanden wären, so würde an jener Stelle, an welcher die geriebene Glasscheibe das Reibzeug verlässt, eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten dieser beiden Körper eintreten, was man aus den dort im Dunkeln auftretenden Lichterscheinungen erkennen kann. Werden aber die Taffetstücke mit dem Reibzeuge verbunden, so tritt zwischen ihnen und der Glasscheibe eine Potential-Differenz ein, die fast jener gleichkommt, welche zwischen der letzteren und dem Reibzeuge besteht. Es erfolgt die Trennung der durch Reibung entstandenen Elektricitäten am Ende der Taffetstücke, und es kann an diesen Stellen kein oder wenigstens kein vollständiger Ausgleich derselben eintreten, weil die Taffetstücke schlecht leitende Körper sind, was von dem mit Amalgam überzogenen Reibzeuge nicht gesagt werden kann.

Dies ist die eine und wohl die Hauptrolle der Taffetansätze; ausserdem verhindern sie, dass die Elektricität

der Glasscheibe sich leicht in die umgebende Luft zerstreut.

Man kann auch mittelst der Elektrisirmaschine die Elektricität des Reibzeuges sammeln. Wir setzten bisher voraus, dass dasselbe zur Erde abgeleitet sei, wodurch einerseits das Potential der geriebenen Glasscheibe anwächst, andererseits bei zu hohen Spannungen die directe Ausgleichung der auf dem Conductor und Reibzeuge befindlichen Elektricitäten vermieden oder wenigstens vermindert wird. Will man die Elektricität des Reibzeuges sammeln, so wird man den Conductor *A* (Fig. 4) zur Erde ableiten, den zweiten Conductor *O* jedoch isoliren.

Bemerkungen über die einzelnen Theile einer Reibungs-Elektrisirmaschine.

Bevor wir an die Beschreibung einiger älterer und neuerer Elektrisirmaschinen dieser Art gehen, empfiehlt es sich, einige Bemerkungen über die Construction der einzelnen Theile der Maschine voranzuschicken.

Was zunächst den zu reibenden Körper betrifft, so hat man zu dessen Construction mehrfache Substanzen verwendet, so Glas, Schellack, Hartgummi (Ebonit), Guttapercha, Wollenzeug, Papier, Pyroxylinstreifen u. s. w. vorgeschlagen. Am besten bewährt sich Glas. Bei der Wahl desselben muss man jene Glassorten berücksichtigen, deren oberflächliche Leitungsfähigkeit minimal ist; sie müssen stark kieselhaltig, gut isolirend und wenig hygroskopisch sein; insbesondere das leicht verwitterbare Natronglas ist sehr hygroskopisch und eignet sich nicht gut zur Construction von Scheiben und Cylindern. Von Zeit zu

Zeit muss man die Glasscheibe erwärmen und mit rectificirtem Alkohol reinigen, auch öfteres Reiben behebt die oberflächliche hygroskopische Schicht, und man macht die Erfahrung, dass neue Gläser mit dem Gebrauche besser werden. Auch dadurch kann man eine Maschine wirksamer machen, dass man die Glasscheibe oder den Glascylinder mit einer dünnen beiderseitigen Talgschicht überzieht.

Wenn man Ebonitplatten anwendet (wie dies z. B. in vielen für Sprengzwecke dienlichen Elektrisirmaschinen geschieht), so gebraucht man zur Reibung derselben Pelzzeug. Solche Platten liefern bedeutende Elektricitätsmengen, erleiden aber im Laufe der Zeit Deformationen und erhalten an ihrer Oberfläche eine Schicht von Schwefelsäure (Verbindung des bei der Elektrisirung der Luft entstandenen Ozons mit dem Schwefel der Ebonitplatte), welche die Wirkung der Scheibe nicht wenig vermindert. Man kann die Oberflächen solcher Platten reinigen, wenn man sie mit Pottaschelösung abwäscht, mit Schmirgelpapier oder mit gebrannter Magnesia abreibt.

Die weiter oben angegebenen zur Construction verwendbaren Substanzen eignen sich wegen ihres bedeutenden hygroskopischen Verhaltens und ihrer geringen Festigkeit weniger gut.

Die Reibzeuge waren in einigen älteren Maschinen aus Leder verfertigt, das mit Haaren ausgestopft war; in den heutigen Maschinen wendet man einige Lagen Flanell an, auf welchen ein Stück Schafleder aufgeklebt ist; diese Construction empfiehlt sich gegen die früheren, da eine weiche Polsterung mit der Zeit die Elasticität verliert. — Schon frühzeitig machte man die Erfahrung, dass

ein Ueberdecken der Kissen mit metallischen Substanzen sich vortheilhaft erweist. Die Wachstaffetstreifen, welche van Marum an die Kissen seiner Maschine fügte, bedeckte er mit Stanniol. Man hat eine Reihe von Amalgamen verfertigt, mit welchen man die Kissen an jenen Flächen bestreicht, welche der Glasscheibe gegenüberstehen. Es scheint der physikalische Zustand dieser Amalgame eine wichtigere Rolle als die Zusammensetzung derselben zu spielen. Die Hauptwirkung der Amalgame scheint darauf zu beruhen, dass diese durch Reibung mit starker negativer Elektricität sich laden; diesbezüglich hat der französische Elektriker Gaugain mehrfache Versuche angestellt und E. Becquerel hat ebenfalls die Wirkung verschiedener auf die Reibzeuge gebrachter Stoffe studirt. Canton hat 1762 Zinnamalgam angewendet; einige Jahre später führte Higgins das Zinkamalgam (4 Th. Zink, 1 Th. Quecksilber) ein. In neuerer Zeit wurde ein aus 8 Th. Wismuth, 5 Th. Blei, 3 Th. Zinn und 7—8 Th. Quecksilber bestehendes Amalgam von Brame vorgeschlagen. Auch Mussivgold (Zinnbisulfat) erweist sich recht gut wirksam; es ist gut, dasselbe vor dem Gebrauche mit Wasser zu waschen und gut zu trocknen, da das im Handel vorkommende Mussivgold gewöhnlich noch Ammoniaksalze enthält.

Am verbreitetsten ist das von Kienmayer in Wien 1789 verfertigte Zinn-Zink-Amalgam. Man schmilzt in einem Tiegel 1 Th. Zink und 1 Th. Zinn zusammen, und fügt dann 2 Th. Quecksilber zu; die Metalle vereinigen sich beim Reiben in einer Metallschale sehr bald mit dem Quecksilber; um die Massen homogen zu machen, werden sie nochmals in dem Tiegel oder einem Löffel

aus starkem Schwarzblech zusammengeschmolzen, die Mischung auf einen Stein ausgegossen und nach dem Erstarren zerbröckelt. Diese Masse wird fein gepulvert und durch Erwärmen und Legen auf erwärmtes Papier auf das Sorgfältigste von aller Feuchtigkeit befreit. Die Kissen werden ebenfalls erwärmt und das Leder derselben mit wasserfreiem Fett (etwa Cacaobutter) etwas bestrichen; sie werden dann aneinander gerieben, bis eine vollkommen continuirliche dünne Fettschicht auf ihnen haftet; hierauf legt man sie auf das Amalgam, reibt sie abermals gegen einander und setzt diesen Vorgang so lange fort, bis das Leder ein gleichmässig metallisches Aussehen erhalten hat.

Was den Druck betrifft, den die Reibzeuge gegen den geriebenen Körper ausüben sollen, so ist derselbe nur so gross zu wählen, dass die einzelnen Stellen des Glaskörpers beim Durchgange durch die Kissen mit dem Amalgame in Berührung kommen. Wird der Druck darüber vergrössert, so wird die Elektricitäts-Erregung keineswegs befördert. Dieser Umstand ist durch vielfache Versuche bestätigt worden.

In früherer Zeit hat man gewöhnlich mehrere Reibkissen in Anwendung gebracht; in den heutigen Maschinen dieser Art gebraucht man gewöhnlich zwei gegenüberstehende. Wendet man mehr als je zwei diametral gegenüberliegende an, so läuft man Gefahr, dem Uebergange der Elektricität des Conductors bald eine Grenze zu setzen, weil die Entfernung zwischen ihnen zu klein wird.

Der dritte Hauptbestandtheil der Elektrisirmaschine, der Conductor, bestand bei den Apparaten älterer Construction meist aus einem oder mehreren Messingcylin-

dern, die halbkugelförmig endigen. An keiner Stelle des Conductors dürfen eckige Formen auftreten, denn sonst würde die Ladung des Conductors wegen der hohen Spannung der Elektricität aus den Spitzen und Kanten entweichen. Es muss, um nur z. B. eines zu erwähnen, dafür gesorgt werden, dass an jener Stelle, an welcher der Conductor auf einen wohl isolirenden Stab aufgesetzt ist, keine scharfen Uebergänge stattfinden; die Befestigungsschrauben müssen kugelförmig oder ringförmig abgerundet sein u. s. w. Wir werden später bei der Besprechung der Winter'schen Elektrisirmaschine noch näher auf die Einrichtung des Conductors zurückkommen.

In den modernen Reibungs-Elektrisirmaschinen wendet man für den positiven Conductor kugelförmige Conductoren aus Messingblech oder aus polirtem Holze an, das mit einigen Stanniolstreifen belegt ist, der negative Conductor hat fast immer noch die Cylinderform. Zuweilen verlängert man den Conductor in der Weise, dass man an ihn einen mit einer Kugel versehenen Metallarm ansetzt, welche Einrichtung folgenden Vortheil hat: die in dem Conductor zurückgestossene Elektricität, welche jener des geriebenen Körpers gleichnamig ist, sammelt sich recht weit von letzterem an und kann nicht durch Rückwirkung den Uebertritt der Elektricitäten des Isolators stören.

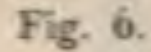
Die Saugspitzen oder Saugkämme reichen nur so weit, als sie den geriebenen Stellen des Isolators gegenüberstehen. In einigen Elektrisirmaschinen (z. B. in der Sprengtechnik verwendeten) findet man statt eines Saugkammes nur einen ziemlich grossen und sehr spitzen Metalldorn.

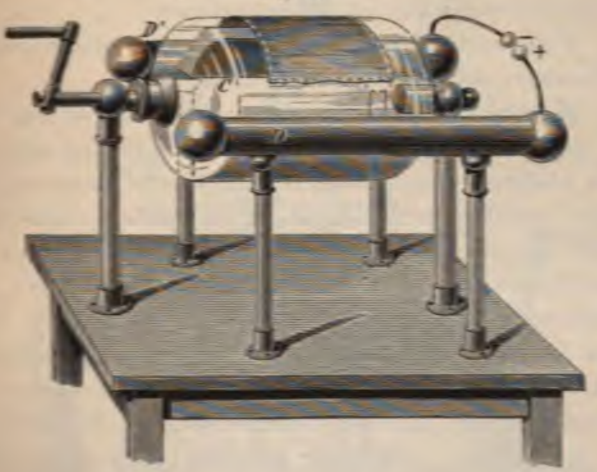
Man könnte glauben, dass eine Vergrösserung der
luctoren unter allen Umständen Vortheile biete, da
rch die elektrische Capacität vergrössert, somit die auf
Conductor zu sammelnde Elektricitätsmenge ebenfalls
nehrt wird. Abgesehen davon, dass solche Conductoren
verfällig werden, muss man im Auge behalten, dass
bei der Vergrösserung des Conductors bald zu einer
nze kommt, da sich zwischen der erzeugten Elek-
ätsmenge und jener, welche durch die Luft und die
nügende Isolirung der Stützen entführt wird, bald
Gleichgewichtszustand herstellt. Ein darüber hinaus-
ndes Vergrössern der Conductor-Oberfläche wird zur
grösserung beider Elektricitätsmengen, der zugeführten
der entführten, beitragen. Letztere kann aber be-
ender sein als erstere, und dann functionirt die
chine schlechter. Es ist daher gut, ein ganz be-
mtes Grössenverhältniss der Oberfläche des geriebenen
pers und jener des Conductors festzuhalten.

Dass die Isolirung der Conductoren eine tadellose
muss, ist selbstverständlich. Die Glasfüsse, welche
Ständer verwendet werden, müssen vor dem Gebrauche
Apparates gut mit einem trockenen und warmen
he abgewischt werden; zum Schutze gegen die
chtigkeit erweist es sich vortheilhaft, die Füsse mit
r sehr dünnen Talg- oder Paraffinschicht zu be-
ken und einen warmen, trockenen Luftstrom, der
n eigens zur Maschine gehörigen Ofen entströmt,
n den Apparat zu senden.

Bei feuchter Witterung ist es nicht möglich, dem
ductor eine so starke Ladung zu verleihen, wie bei
kenem Wetter. Man kann sich davon sehr leicht an

grossen Cylinders war ein dem Cylinder D' in der Grösse gleichkommender Cylinder D isolirt aufgestellt, welcher entsprechend der Länge der Kissen einen Metallkamm trug. In der Maschine von Nairne befand sich bereits der vom Reibzeuge ausgehende Taffetstreifen, der sich bei der Drehung der Glaswalze an den oberen Theil der-


Fig. 6.



selben anlegte. In der Figur erblickt man noch zwei von den beiden kleinen Cylindern ausgehende Metallarme, welche in Kugeln endigen. Nähert man dieselben einander bis auf eine bestimmte Entfernung, so wird zwischen den kleinen [illegible]eln in gewissen Zeitintervallen ein elektrischer Fu[illegible]m anderen folgen; die beiden Elek-
[illegible]ch in dieser Form aus. Will man
[illegible] Elektricität sammeln, so leitet man
[illegible] D' zur Erde ab.

Die Maschine von Nairne, welche der von Winckler und Pater Gordon construirten ähnlich ist, gibt gute Wirkungen und zeichnet sich durch ihre compendiöse Form aus. Ein Umstand tritt oft der starken Elektricitäts-Entwickelung hindernd in den Weg: ist nämlich die Rotationsaxe des Cylinders nicht gehörig isolirt, so finden zwischen derselben und den Conductorcylindern Elektricitäts-Uebergänge nur zu leicht statt.

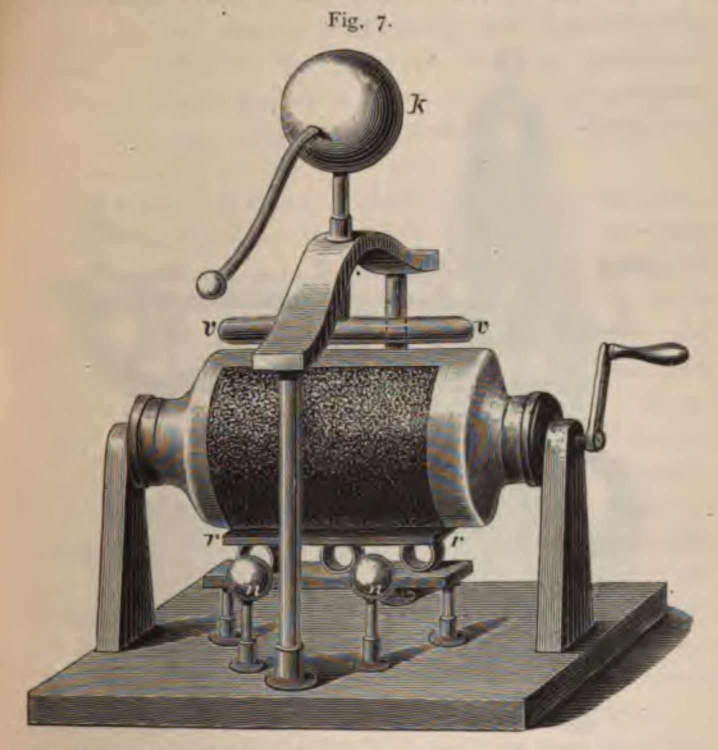
Von neueren Glascylinder-Maschinen, welche kräftige Wirkungen aufweisen, erwähnen wir die

Maschine von Grüel (Fig. 7). In derselben wird ein grosser Glascylinder, der durch eine Kurbel um seine Axe drehbar eingerichtet ist, an einem einzigen Reibkissen, welches in der Figur durch *rr* dargestellt ist, in seiner ganzen Länge gerieben. Es ist das letztere mit Metallkugeln *nn* in metallischer Verbindung; diese, von Glasfüssen getragen, dienen als negative Conductoren. Dem Reibzeuge gegenüber, auf der anderen Seite des geriebenen Cylinders, befindet sich der als positiver Conductor dienende, mit Saugspitzen versehene Metallstab *vv*, der in leitender Verbindung mit der Hohlkugel *k* steht, welche den früher erwähnten, kugelförmig endigenden Metallstab trägt. Zur Vermeidung der Elektricitätsverluste ist auch bei dieser Maschine am Reibzeuge ein Wachstaffetstreifen befestigt, welcher sich in der dargestellten Weise an den Cylinder anlegt.

Alle Cylindermaschinen sind — wenn sie etwas grössere Dimensionen besitzen — schwierig zu construiren; bei grösseren Cylindern kann eine Bearbeitung derselben auf der Drehbank nicht erfolgen, weil sie leicht springen würden; man muss sie daher so anwenden, wie sie aus

der Glasbläserei kommen; dann besitzen sie jedoch an ihrer Oberfläche Unebenheiten, welche einer gleichmässigen Reibung an den Kissen hinderlich sind und in Folge dessen die Elektricitäts-Entwickelung schädigen.

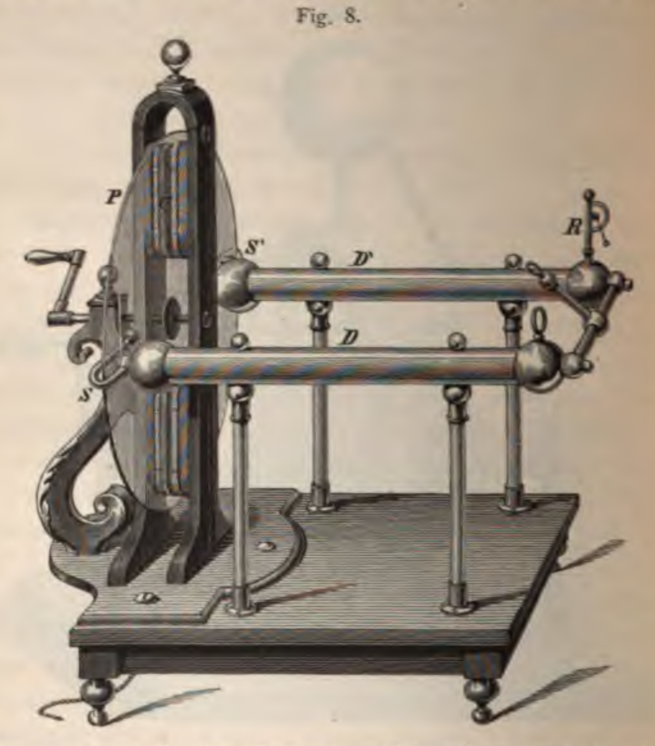
Fig. 7.



Aus diesem Grunde wendet man heutzutage vorzüglich Scheibenmaschinen an, bei denen der geriebene Isolator bedeutend leichter und in gediegenerer Weise herzustellen ist. Eine der ältesten Formen dieser Maschine war die

Scheibenmaschine von Ramsden (Fig. 8). Eine Glasscheibe *P*, welche um eine durch ihren Mittelpunkt gehende horizontale Axe mittelst einer Kurbel gedreht werden kann, wird von vier Reibern *CC* gerieben, von

Fig. 8.



denen je zwei einander gegenüberstehen und in der Richtung des verticalen Scheibendurchmessers sich befinden. Diese Reiber bestanden aus mit Haaren ausgestopftem Leder und wurden von zwei Holzsäulen getragen, welche zu beiden Seiten der Glasscheibe standen;

sie wurden durch elastische Stahlfedern an das Glas gedrückt. In der ursprünglichen Maschine von Ramsden besassen die Reiber noch keine Taffetblätter, und erst van Marum brachte dieselben an dieser Maschine an. Die Kissen wurden mit einer Amalgamschicht überzogen und in leitende Verbindung mit Kupferstücken gebracht, welche in die Holzsäulen eingefügt waren und an ihren unteren Enden in einen Metallknopf endigten, der durch eine Metallkette mit der Erde leitend verbunden werden konnte.

Die aus der Figur ersichtlichen zwei Conductoren waren Metallcylinder $D D'$, die mit Kugeln an ihren Enden versehen, wohl isolirt aufgestellt und durch ein metallenes Querstück verbunden waren. Zur besseren Isolirung überzog man die tragenden Glasstäbe mit einer dünnen Schellackschicht, ein Vorgang, der auch heute noch oft angewendet wird. Diese beiden Conductoren gehen bis an die Glasscheibe heran und endigen daselbst in Metallarme, welche die Scheiben beiderseits umgeben und an ihrer Innenseite mit Metallspitzen versehen sind; die Länge der Theile dieser Arme, welche mit Saugspitzen ausgerüstet sind, stimmt mit jener der Reibkissen überein, so dass die geriebenen Glasstellen bei der Rotation der Scheibe den Kämmen gegenüberstehen, was nach je einer Viertelumdrehung der Scheibe eintritt.

Bedeutend stärkere Wirkungen, als mit der oben beschriebenen, erzielte van Marum mit seiner bekannten grossen Maschine, in der zwei Scheiben von 8 Reibkissen gerieben wurden, welche so wie bei der Ramsdenschen Maschine angebracht waren. Wir haben die Grössen-

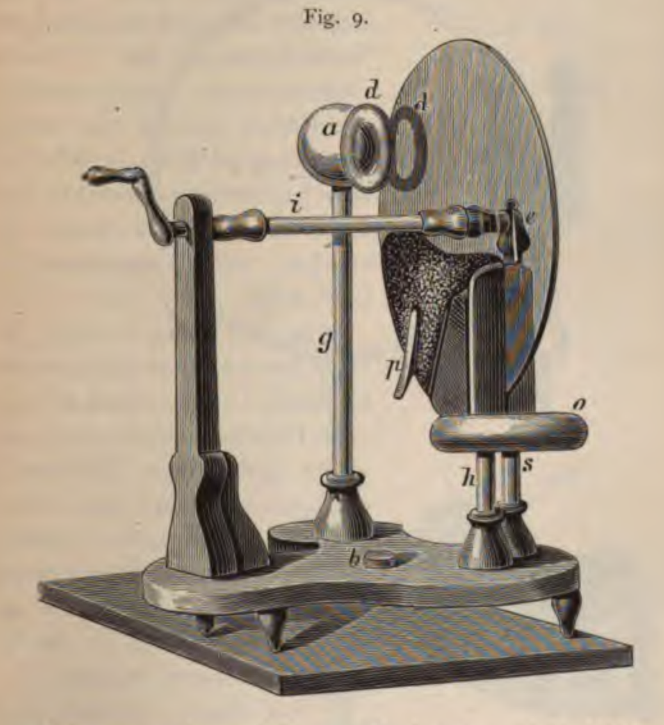
dimensionen der Maschine von van Marum bereits in der obigen geschichtlichen Skizze angegeben und es erübrigt uns nur zu bemerken, dass an der letzteren Maschine die Stützen der Kissen aus Glasstäben verfertigt waren und dass zur Vermeidung des Elektricitäts-Ueberganges von den Kämmen und den Kissen zur Rotationsaxe die Scheiben mit einer harzigen Substanz an allen jenen Stellen bedeckt wurden, welche nicht zur Reibung gelangten. Auch die Conductoren änderte van Marum insoferne, als er diesen die Kugelform gab. Zur Vermeidung jeder Ecke oder Kante höhlte er diese Kugel nabelförmig aus; in diese Oeffnung wurde der den Conductor tragende Glasstab eingekittet. Wir werden dieser Vorsichtsmassregel auch bei jener Maschine begegnen, welche vom Mechaniker Winter in Wien construirt wurde.

Einige Jahre später fertigte van Marum eine Maschine an, bei welcher die Glasscheibe am Ende einer horizontalen Drehungsaxe getragen wurde; die zwei Paar Reibkissen befanden sich an den beiden Enden des horizontalen Scheibendurchmessers. Von einer isolirten Kugel gingen zwei Arme aus, die in zwei kleine, zur Scheibe parallele Cylinder endigten und so gestellt werden konnten, dass die erwähnten Cylinder sich in einer verticalen Ebene befanden. Man konnte so die positive Elektricität des Glases sammeln. Die negative Elektricität der Kissen konnte in einem ähnlichen Conductor gesammelt oder durch diesen abgeleitet werden. Man benützte diese Maschine jedoch nur wenig, sie war leicht zerbrechlich und schwerfällig. Um die am Ende der Drehungsaxe sitzende Glasscheibe zu aequi-

libriren, bedurfte es eines nicht unbedeutenden Gegengewichtes.

Ein bedeutender Fortschritt in der Construction der Reibungs-Elektrisirmaschine trat erst dann ein, als der

Fig. 9.



kürzlich verstorbene Wiener Mechaniker Karl Winter seine leistungsfähige Maschine der Oeffentlichkeit übergab. Da diese Maschine heute fast ausschliesslich in Verwendung steht, soll ihre Einrichtung genauer beschrieben werden.

Maschine von Winter. Schon im verflossenen Jahrhundert wurden nach den Angaben von Le Roy Elektrisirmaschinen verfertigt, welche in der äusseren Form den Winter'schen Maschinen ähnlich waren. Bedenkt man, dass an der letzteren mannigfaltige nützliche Veränderungen und Vervollkommnungen vorgenommen wurden, so erkennt man leicht, dass es ungerecht ist, die Winter-sche Elektrisirmaschine als eine Copie der Le Roy'schen anzusehen, wie es manchmal beliebt wird.

Fig. 10.



Fig. 11.



In der Figur 9 auf S. 41 erblicken wir einen horizontalen Glasstab *i*, der einerseits von einer Holzsäule, andererseits von einem isolirenden Glasfusse *s* getragen wird und eine kreisförmige Glasscheibe central durchsetzt; letztere kann mittelst einer an dem Glasstabe *i* angebrachten Kurbel in rasche Drehung versetzt werden.

Auf einem ebenfalls isolirten Stative *h* befindet sich ein gabelförmiges, vertical stehendes Holzstück *n n* (Fig. 10), das auf beiden Innenseiten ausgeschnitten ist, um die zwei Reibkissen, zwischen denen die Maschine gerieben wird, aufzunehmen. Ein Messingstreifen *n n r* führt

die negative Elektricität des Reibzeuges zur Oeffnung *r*, in welche der negative Cylinderconductor *o* eingesetzt wird.

Fig. 12.



Die Reibzeuge bestehen aus zwei Holzstückchen (Fig. 11), welche dreieckig geformt und mit Flanell und mit amalgamirtem Leder belegt sind. An das Leder

setzt sich ein Wachstaffetlappen *V V* an, welcher gewöhnlich noch mit Schellack überzogen wird.

Damit das Reibkissen durch die Gabel *n n r* nicht durchschlüpft, ist eine Holzleiste *q* an dem Träger des amalgamirten Leders angebracht; damit ferner letzteres unter einem sanften Drucke gegen die rotirende Glasscheibe angepresst werde, befinden sich an der Rückwand des dreieckigen Brettchens Stahlfedern *p p*.

Wir haben uns nun die Glasscheibe genau in die Mitte der Gabel *n n r* eingestellt zu denken und zu beiden Seiten der ersteren je ein Reibkissen angebracht anzunehmen.

Die Figur 12 zeigt den eigenthümlich gestalteten Kugelconductor *a*, der gewöhnlich aus Messingblech besteht; er ist, wie bei der van Marum'schen Maschine, mit der unteren nabelförmigen Oeffnung auf einen isolirenden Glasstab *g* aufgestellt und besitzt mehrere eingelöthete Blechhülsen. Die verticale obere dient zur Aufnahme des später zu beschreibenden Winter'schen Ringes; die linksseitige Bohrung nimmt ein Metallstäbchen auf, das entweder — wie es bei grösseren Apparaten der Fall ist — eine kleine Metallkugel trägt, oder — wie bei kleineren Maschinen — ein schwach gekrümmtes Messingstückchen *v* (Fig. 13) an seinem Ende besitzt. Dieses Stäbchen lässt sich in der horizontalen Hülse aus- und einschieben. Es hat nicht nur den Zweck, einen Gegenstand, den man elektrisiren will, an den Conductor anzuhängen, sondern auch die Funkenlänge zu variiren.

Eine mathematische Betrachtung lehrt nämlich, dass, wenn z. B. zwei mit einander leitend verbundene Kugeln

trisirt werden, die Dichten der Elektricität auf
sen Kugeln sich verkehrt wie die Halbmesser
Kugeln verhalten. Will man starke Funken aus
Conductor ziehen, so wird man das Röhrchen soweit
lie Hülse einschieben, dass das Messingstück dicht
den Conductor anliegt; will man aber elektrisches
chellicht aus dem Conductor erhalten, so zieht man
Röhrchen weiter aus der Hülse heraus.

In die rechtsseitige horizontale Oeffnung wird die
gvorrichtung eingeschoben, die bei der Winter'schen

Fig. 14.

Fig. 13.



chine ebenfalls merkwürdig umgestaltet ist. Es sind
lich (Fig. 14) zwei Ringe von polirtem Holze an
n Seiten, welche der zwischen ihnen sich drehenden
scheibe zugekehrt sind, mit einer Rinne versehen,
auf ihrem Boden mit Stanniol beklebt ist; von dieser
niolbelegung erheben sich gegen die Glasscheibe zu
Reihe sehr feiner Saugspitzen; andererseits ist die
ne durch einen Stanniolstreifen mit dem Träger *z* der
gringe, und da dieser in den Conductor gestellt wird,
mit letzterem in leitender Verbindung. Dieser
ger *z* ist ebenso wie die Hülse, in welche er passt,
g gestaltet, damit die Saugringe keine Drehung er-
en können.

Würde man mit dem Conductor der Elektrisirmaschine einen zweiten viel grösseren Kugelconductor verbinden und aus dem ersteren Funken ziehen, so würde man eine bedeutende Vergrösserung derselben wahrnehmen; wir haben oben nämlich den aus der Theorie folgenden Satz aufgestellt, dass die Dichten der Elektricität auf den beiden Kugeln sich umgekehrt wie deren Radien verhalten. Da aber die Hinzufügung einer so grossen Kugel unbequem wäre, hat Winter diesem Conductor die Form eines Ringes gegeben. Dieser Winter'sche Ring besteht aus Holz, das aussen polirt, im centralen Kerne aber ausgehöhlt und mit Eisendraht ausgefüllt ist; auch der Holzstab, mittelst dessen man den Ring auf den Conductor aufsetzt, ist in seiner Axe von dem Eisendrahte durchzogen.

Mit Hilfe seines Ringes erzielte Winter ganz bedeutende Effecte; er erreichte Funken von 60 cm, ja sogar von 1 m, wie es z. B. bei der Elektrisirmaschine des polytechnischen Institutes in Wien der Fall ist, die nach seinem Systeme umgebaut wurde.

Zu bemerken wäre noch, dass Emsmann versuchte den Winter'schen Ring durch eine andere Vorrichtung zu ersetzen. Er nahm 3—5 an einem Ende zugeblasene Glasröhren, die auf ihren Aussenseiten mit Stanniol überkleidet waren, steckte sie in einander und umgab sie mit einer ungefähr 5 cm weiten ähnlichen, aber unbelegten Röhre. Die einzelnen Stanniolbelegungen standen unter einander in leitender Verbindung und auch mit einem Metallhaken, der an dem Conductor der Elektrisirmaschine befestigt wird. Doch findet man beinahe nirgends diese Vorrichtung in Anwendung und es ist richtig, wenn

Professor Mascart in seinem Werke über statische Elektricität behauptet, es sei nicht einzusehen, was die vielen metallischen Belegungen zu schaffen hätten, es sei ja ohnehin nur die äusserste jene, welche eine Elektrisirung erfährt.

Die Elektricitätsmenge, welche von einer Winter-schen Elektrisirmaschine erzeugt wird, ist, da nur ein Kissenpaar verhanden ist, kleiner als die von einer Ramsden'schen Maschine in derselben Zeit erzeugte Elektricitätsmenge, da bei der letzteren in derselben Zeit eine doppelt so grosse Glasoberfläche gerieben wird. Wo man grosse Elektricitätsquantitäten benöthigt, wird man daher mit Vortheil Elektrisirmaschinen anwenden, bei denen mehrere Reibkissenpaare vorhanden sind. Die Maschine von Winter hat aber den grossen Vortheil, dass wegen der grösseren Entfernung des Reibkissens und der Saugkämme, die 180° im Winkelmasse beträgt, die Potential-Differenz eine weit höhere als bei der Maschine ist, bei welcher die Entfernung dieser beiden elektrisch differenten Körper nur 90° beträgt. Zur Erzeugung starker Funken eignet sich die Maschine von Winter daher in hohem Masse.

Es würde uns noch die Aufzählung und Beschreibung jener Elektrisirmaschinen obliegen, die für militärische Zwecke als Zündapparate eingerichtet wurden; doch verweisen wir den Leser diesbezüglich auf den XV. Band*) dieser Bibliothek, in welchem diese Instrumente in ausführlicher Weise dargestellt werden. Es sei nur bemerkt, dass auch hier Cylinder-Elektrisirmaschinen

*) Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Friedrich Wächter.

ebenso wie solche mit rotirenden Scheiben in Verwendung kommen. Eine Maschine der ersten Art, bei welcher der Cylinder aus Hartgummi bestand, war früher bei der österreichischen Geniewaffe in Verwendung; die Scheibenmaschinen, welche in diese Gruppe gehören, enthalten entweder Scheiben aus Spiegelglas oder aus Hartgummi, das mit Pelzwerk gerieben wird. Da diese Apparate principiell als solche keinen grossen Fortschritt in der Entwicklung der Elektrisirmaschine aufweisen, wollen wir uns nur auf diese kurzen Bemerkungen beschränken.

Hydro-Elektrisirmaschine von Armstrong.

Es wurde früher erwähnt, dass die Reibungselektricität ihrem Wesen nach mit der Contactelektricität bei der Berührung zweier Metalle, wie sie von Volta entdeckt wurde, übereinstimme. Aber auch dann, wenn von den beiden sich reibenden und dann getrennten Körpern der eine flüssig, der andere fest ist, entwickeln sich Elektricitätsmengen auf diesen beiden Körpern, welche gleich gross, aber vom entgegengesetzten Zeichen sind.

Zu dieser wichtigen Entdeckung führte ein Zufall. Beim Reguliren einer Dampfmaschine, die in der Nähe von Newcastle aufgestellt war, legte der Maschinenwärter die eine Hand auf den Hebel des Gewichtsventiles, um die Belastung des Ventiles zu variiren, die andere Hand brachte er in den Dampfstrahl, welcher aus einer Ritze in der Nähe des Sicherheitsventiles entwich; er fühlte einen heftigen Schlag und es entstand ein kräftiger elektrischer Funke, der zwischen dem Hebel und der Hand des Maschinenwärters übersprang. Diese

0 gemachte Entdeckung wurde dem englischen In-
ieur Armstrong mitgetheilt und letzterer suchte
ıer eigenthümlichen Art der Elektricitäts-Erzeugung
den Grund zu kommen. Auch er beobachtete an
ıreren Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen. Den
er dem Einflusse eines starken Druckes ausströmen-
Dampf fand Armstrong positiv elektrisch. Eine
:omotive, welche er auf eine isolirende Basis auf-
lte, fand er so stark negativ elektrisch, dass er ganz
eutende Funken aus derselben ziehen konnte; er
gte hierbei dafür, dass die positive Elektricität des
npfes gehörig abgeleitet wurde.

Schon Armstrong fand das bemerkenswerthe
ultat, dass die Reinheit des im Dampfkessel sich
ndenden Wassers einen wesentlichen Einfluss auf die
ıge der erzeugten Elektricität übt, dass ferner letztere
der Beschaffenheit des Körpers, der den Rand der
ıströmungsöffnung des Dampfes bildet, und auch von
ı Drucke des Dampfes abhängig ist. Auch die That-
ıe, dass durch Reibung vom trockenen Dampfe an
Ausströmungsröhren fast keine Elektricität hervor-
ıfen wird, ebenso jene, dass der gesättigte Dampf,
ıentlich in jenem Stadium, in dem er bereits conden-
: Flüssigkeitströpfchen enthält, die meiste Elektricität
rt, wurde bereits von Armstrong festgesetzt.

Man hatte schon viel früher eine Hypothese auf-
ellt, durch welche man die Entstehung der atmo-
rischen Elektricität zu erklären suchte. Man dachte
lich, diese Elektricitäts-Entwicklung entstünde durch
Bildung des Dampfes oder durch die nachfolgende
densation desselben. Nun suchte man die elektrischen

Phänomene, welche man an dem aus einem Dampfkessel strömenden Dampfe beobachtete, mit diesen älteren Anschauungen in Einklang zu bringen.

Es ist aber durch schöne Experimental-Untersuchungen, welche der berühmte englische Physiker Michael Faraday später durchführte, unzweifelhaft nachgewiesen worden, dass weder die Dampfbildung, noch die Condensation desselben Ursache der Elektricitäts-Entwicklung seien, dass nur die Reibung des unter starkem Drucke aus einer Oeffnung ausströmenden Dampfes an den Wandungen der letzteren ziemlich bedeutende Elektricitätsmengen hervorrufe.

Wenn wir die Ergebnisse, zu welchen Faraday in seinen Forschungen gelangte, überblicken, so finden wir in denselben auch die von Armstrong angeführte Thatsache festgestellt, dass ein Strom von trockenem oder überhitztem Dampfe, also solchem, welcher vollkommen frei von Flüssigkeitstheilchen ist, keine Elektricitäts-Entwicklung veranlasst.

Als Faraday dem Wasser im Dampfkessel eine geringe Menge gelösten Salzes zusetzte, hörte die Elektricitäts-Entwicklung auf; diese merkwürdige Erscheinung erklärte Faraday durch die Leitungsfähigkeit, welche das Wasser durch den Salzzusatz erhält. Als er dem Wasser isolirende Körper in fein zertheiltem Zustande beigab, so z. B. Oele, Fette, Harze, so zeigte sich der ausströmende Dampf negativ elektrisch, der Dampfkessel hingegen positiv elektrisch. Bei Anwendung von Terpentinöl hört der negative Zustand des Dampfes bald auf und macht dem positiven Platz

wenn nämlich das gesammte Terpentinöl verdampft und fortgerissen wurde. Körper, welche weniger flüchtig sind, wie die fetten Oele, erhalten den Dampfkessel längere Zeit hindurch positiv elektrisch. Diese von Faraday beobachteten Erscheinungen veranlassten ihn, die Meinung auszusprechen, es seien weder die Theile des Wassers, noch jene des Dampfes, welche durch ihre Reibung an der Ausflussröhre Elektricität erzeugen, sondern die isolirenden Stoffe, welche in feiner Schicht die einzelnen Wassertröpfchen umgeben würden. Bemerkt sei zu diesen eben erwähnten Versuchen, dass in der That Faraday nachwies, dass die Anwesenheit des Wassers überflüssig sei, um Elektricität zu erhalten. Erfolgt ein starker Luftstrom, in welchem feine Pulver suspendirt sind, so wird derselbe elektrisch und zwar mit einem Zeichen, welches mit der Beschaffenheit des Pulvers variirt. Doch sind die so erzeugten Elektricitätsmengen im Verhältnisse zu jenen, welche durch die Reibung vom feuchten Dampfe entstehen, gering. Jedenfalls aber ist die Reibung der Flüssigkeitströpfchen am Ausflussrohre eines Dampfkessels die Hauptquelle der erregten Elektricität und die Reibung der im Wasser suspendirten Theile ist gegen die erst genannte Reibung viel weniger elektrisch wirksam.

Einen grossen Einfluss auf die Entwicklung der Elektricität hat die Beschaffenheit der Ausflussröhre. Wendet man eine solche aus Holz an, so wird der Dampfkessel immer negativ, der Dampf positiv elektrisch. Dasselbe zeigt sich auch beim Gebrauche einer gläsernen oder metallenen Ausflussröhre. Nimmt man eine Röhre aus Elfenbein, so entsteht keine Elektricität. Unter allen festen Körpern gibt nach den bisher angestellten Ver-

suchen eine Röhre von Buchsbaumholz die besten Resultate.

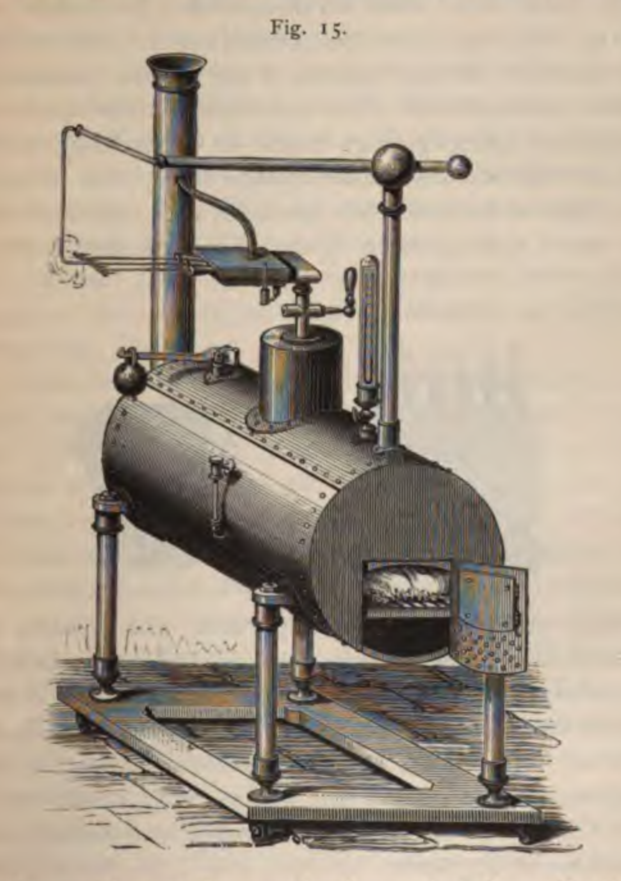
Der Leser ist nun hinlänglich mit den Erscheinungen der Elektricitäts-Erregung beim Reiben von Flüssigkeitstheilchen an festen Körpern vertraut gemacht, um die Wirkungsweise der grossen Armstrong'schen Elektrisirmaschine, der man den Namen »Hydro-Elektrisirmaschine« ertheilte, zu verstehen.

Es wurde diese Maschine, die heutigen Tages nur mehr theoretisches und historisches Interesse bietet, zu praktischen Zwecken jedoch nicht mehr benützt wird, in verschiedenen Grössen gebaut. So hat Ruhmkorff eine derartige Maschine construirt, in welcher der Dampfkessel 80 cm Länge und 40 cm im Durchmesser hatte; das polytechnische Institut in London besitzt eine grosse Maschine dieser Art, bei welcher der Dampfkessel die ansehnliche Länge von 2 m hat und bei welcher der Dampf aus 46 Oeffnungen ausströmt. Die Länge der erzeugten Funken beträgt 60 cm, so dass diese Maschine als eine der wirksamsten, bisher construirten betrachtet werden kann.

Im Innern des Dampfkessels ist, wie aus der Fig. 15 ersichtlich wird, die Feuerung angebracht. Der erstere wird von vier isolirenden Glasfüssen getragen und kann mittelst Rollen, welche am Fussgestelle des Apparates angebracht sind, nach jeder Richtung leicht bewegt werden. Auf der Oberseite des Dampfkessels nimmt man ein Gewichts-Sicherheitsventil wahr, durch welches man den Dampfdruck reguliren kann. Zum Versuche wählt man den letzteren gewöhnlich zwischen 4 und 6 Atmosphären. Ebenfalls auf der Oberseite neben dem erwähnten

Ventile befindlich ist ein Helm angebracht, auf dem ein Messingrohr befestigt ist, das durch einen Hahn ge-

Fig. 15.



schlossen oder geöffnet werden kann. Auf dieses Messingrohr können die verschiedenen Dampf-Ausströmungsröhren aufgeschraubt werden.

Der Apparat, welcher diese Dampfröhren enthält, ist in Fig. 16 separat abgebildet und zwar so, wie er sich einem von oben herabblickenden Beobachter darbietet. Auf den Hals des Dampfkessels wird nämlich ein ungefähr 24 cm langes, 5 cm weites gusseisernes Rohr aufgeschraubt. Der aus dem Dampfkessel entweichende Dampf gelangt zuerst in dieses Rohr, sodann in die eigentlichen Ausströmungsröhren, von denen in der Figur sechs ersichtlich gemacht sind. Dieselben sind in einem Messingkasten F eingeschlossen, der mit kaltem

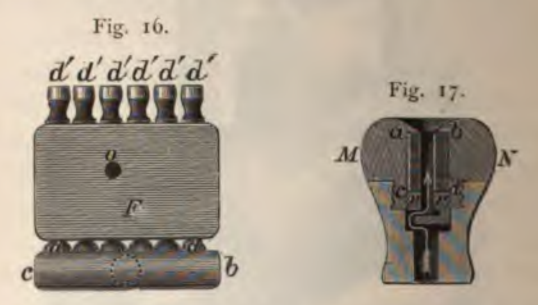


Fig. 16. Fig. 17.

Wasser erfüllt ist, um eine partielle Condensation des Dampfes zu bewirken, wodurch die Wirkung wesentlich gefördert wird. Manchmal hat man auch das Wasser durch Werg ersetzt, welches durch Beträufeln mit kaltem Wasser fortwährend feucht erhalten wird. Der in dem Messinggehäuse entstandene Dampf wird durch ein auf der Oberseite desselben in *o* angebrachtes Rohr in den Schornstein abgeleitet.

Bemerkenswerth ist die Constructionsart der Ausflussöffnungen. An das Ende jeder Ausströmungsröhre wird eine Messinghülse MN (Fig. 17) angeschraubt, die

auf ihrer Innenseite mit Buchsbaumholz *abcd* ausgefüttert ist, welches dem Dampfe eine ziemlich enge Oeffnung zum Ausströmen lässt. Dieser hohle Holzcylinder wird durch einen kurzen Messingcylinder *rr*, welcher in die Messinghülse *MN* eingeschraubt ist, festgehalten. Auch dieser Cylinder besitzt eine centrale Bohrung, vor welcher, wie aus der Figur zu ersehen ist, sich eine Messinglamelle befindet, welche der Dampf bei seinem Ausströmen umfliessen muss. Der Weg, den der Dampf einschlägt, ist in der Figur durch Pfeile angedeutet.

Das zur Seite des Kessels gezeichnete Rohr dient dazu, um den jeweiligen Stand des Wassers im ersteren anzugeben.

Hat der erhitzte Dampf die nöthige Spannkraft erreicht, so öffnet man den Hahn und bringt den Dampf zur Ausströmung. In einer kleinen Entfernung vom Kessel stösst der Dampf auf einen Metallkamm, der gewöhnlich mit einem isolirten Kugelconductor in leitende Verbindung gebracht wird. Die positive Elektricität des Dampfes influenzirt die ± Elektricität des Conductors, die negative wird angezogen und geht von den Spitzen in den Dampfstrom über, die positive Elektricität des Conductors sammelt sich in demselben. Will man die Elektricität des Kessels verwenden, so thut man gut, den mit Spitzen versehenen Conductor zur Erde abzuleiten.

Noch ist zu erwähnen, dass vor dem Versuche der Dampfkessel sorgfältig gereinigt werden muss, was am besten durch eine in denselben gegossene Pottaschelösung erreicht wird. Erst nach der Reinigung füllt man den Kessel mit destillirtem Wasser.

Es ist begreiflich, dass die Quantität der erzeugten Elektricität von der Grösse der durch die Flüssigkeitströpfchen geriebenen Oberfläche abhängig ist. Die Differenz der Potentiale ist von der Entfernung des Saugkammes von den Ausflussöffnungen der Röhren abhängig; diese Distanz darf nicht zu gross gewählt werden, denn sonst würde der Dampfstrom wenigstens nicht vollständig mehr den Kamm erreichen. Bedenkt man, dass der Dampfkessel und der mit den Kämmen leitend verbundene Conductor wegen ihrer sehr differirenden Grössen verschiedene elektrische Capacitäten besitzen, so wird man leicht erkennen, dass die absoluten Werthe der Potentiale auf den beiden leitenden Körpern beträchtlich von einander verschieden sein werden; das Potential des Kessels wird im Verhältnisse zu jenem des Saugkammes und des mit demselben leitend verbundenen Conductors klein sein. Zur Erzielung grosser Schlagweiten einerseits, zur Verminderung der starken Elektricitäts-Zerstreuungen andererseits würde es sich jedenfalls empfehlen, den Saugkamm mit einem isolirt aufgestellten Conductor zu verbinden, welch letzterer eine Capacität besitzt, die jener des Dampfkessels nahe kommt.

Mit einer Maschine von ungefähr 44 cm Durchmesser und 96 cm Länge, bei welcher sechs Ausströmungsöffnungen vorhanden waren, konnte eine Leydnerflaschen-Batterie von 36□' Oberfläche in einer halben Minute geladen werden, was auf eine bedeutende Elektricität-Erzeugung hinweist.

Dass auch bei wachsendem Dampfdrucke die Spannung der erzeugten Elektricität zunimmt, wurde durch verschiedene Versuche nachgewiesen; so liess Seyffer den

Dampf, der in einem Papin'schen Topfe erzeugt wurde, aus einer ähnlichen Röhre, wie sie bei der Armstrong-Hydro-Elektrisirmaschine im Gebrauche waren, ausströmen und beobachtete die elektrische Spannung des Dampfes mittelst eines Henley'schen Quadranten-Elektrometers. Wurde der Dampfdruck von $\frac{1}{2}$ Atmosphäre bis auf $1\frac{1}{2}$ Atmosphäre gebracht, so entfernte sich das Pendel eines solchen Elektrometers vom Theilstriche 4 bis auf 38; bei dem Drucke von 3 Atmosphären betrug die Ablenkung des Elektrometers 90°.

Bekanntlich misst man die Stärke eines elektrischen Stromes, welche die Menge der in der Zeiteinheit durch den Querschnitt eines Leiters durchgehenden Elektricität darstellt, nach der Ablenkung, welche eine Galvanometernadel durch den Strom erfährt. Schon im Jahre 1845 hat Matteuci in dieser Weise den von einer Hydro-Elektrisirmaschine erzeugten elektrischen Strom untersucht. Verbindet man nämlich den isolirten Kessel mit einem Galvanometer, dessen anderes Ende zur Erde abgeleitet ist, so entwickelt sich eine Elektricitätsströmung durch das Galvanometer, welche die Nadel desselben ablenkt. Auch dieser Forscher machte die Erfahrung, dass die Deviationen der Nadeln um so grösser wurden, je stärker der Druck des ausströmenden Dampfes war.

Man hat in den letzten Jahren die Elektricitäts-Erregungen, welche durch Vorbeiströmen eines Flüssigkeitsstromes vor einer festen Wand entstehen, studirt und ist dabei zu bemerkenswerthen Ergebnissen gelangt; doch hat man von diesen Elektricitäts-Erregungen zur Construction von Elektricitäts-Generatoren keine Anwendung gemacht. Aus diesem Grunde wollen wir dieser

Gruppe von Erscheinungen keine weitere Aufmerksamkeit schenken und zur Beschreibung jener Elektricitäts-Generatoren übergehen, bei denen durch Influenzwirkungen und Fortführung (Transport) der erzeugten Elektricitäts-Quantitäten letztere bis zu einer namhaften Stärke anwachsen können. In die Classe dieser Maschinen gehören viele Apparate, welche heutzutage im allgemeinen Gebrauche sind und sehr oft die Reibungs-Elektrisirmaschine ersetzen.

b) Elektrisirmaschinen, welche auf den Principien der elektrischen Influenz und des Transportes der Ladungen beruhen.

Elektrophor.

Die Erscheinungen der elektrischen Influenz wurden bereits von Otto v. Guerike, Hawksbee, Gray und anderen Physikern beobachtet, denselben jedoch nicht die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt. Erst Canton beschrieb diese Phänomene in einer Abhandlung, die im Jahre 1750 erschien, ausführlich, scheint aber immerhin noch nicht die Natur derselben erkannt zu haben.

Erst Wilke und Aepinus sind — wie aus ihren Schriften zu ersehen ist — der Erklärung der Influenzerscheinungen näher gerückt.

Nicht lange darauf (im Jahre 1762) beschrieb Wilke einen einfachen Apparat, der als der Vorläufer des jetzt überall noch in Verwendung stehenden Elektrophors angesehen werden kann, welch letzteres Instrument als Generator hochgespannter Elektricität zu betrachten ist und aus diesem Grunde unsere Aufmerksamkeit in

Anspruch nehmen wird. Das grösste Verdienst um die Entwicklung und die Theorie dieses Apparates kommt aber Alexander Volta zu, der im Jahre 1775 demselben jene Form ertheilte, die noch jetzt am meisten verbreitet ist. Volta war es auch, der jener von dem Turiner Pater Beccaria 1769 ausgesprochenen Ansicht entgegentrat, dass ein erregter Isolator bei der Verbindung mit einem Leiter seine Elektricität an diesen abgebe und bei der Trennung dieser beiden Körper wieder zurückerhalte. Durch Versuche mit einem auf eine geriebene Harzplatte gesetzten isolirten Leiter verbannte Volta für immer die »electricitas vindex«, d. h. die sich selbst herstellende Elektricität, wie sie von Pater Beccaria angenommen wurde, und wies unzweideutig nach, dass die Elektricitäten, so lange sie sich im gegenseitigen Wirkungskreise befinden, unwirksam seien, sich also bänden. Auch Wilke, der seine Experimente mit einer geladenen Glastafel anstellte, wendete sich in einer 1777 erschienenen Schrift entschieden gegen die Ansichten Beccaria's und führte die am Elektrophor zu beobachtenden Erscheinungen mit grosser Ausführlichkeit dem Leser vor.

Der Elektrophor (Fig. 18), welcher von Volta wegen des langen Verweilens der Elektricität in den Harzplatten »elettroforo perpetuo« genannt wurde, besteht im Allgemeinen aus einer Scheibe einer isolirenden Substanz H (dem sogenannten Kuchen), welche auf eine Metallplatte M oder in einen Metallteller gelegt wird. Auf den dielektrischen Kuchen kann eine leitende Platte D, die gewöhnlich den Namen Deckel des Elektrophors führt, aufgesetzt und auch leicht von letzterem abgehoben werden. Damit dies unter guter Isolirung er-

folge, wird der Deckel entweder von einer gläsernen Handhabe *G* oder von trockenen Seidenschnüren getragen.

Der Kuchen wird aus verschiedenen Stoffen erzeugt; entweder wendet man Schellack an, dem Wachs oder Terpentin in solcher Menge zugesetzt wird, dass die entstandene Masse nur einen geringen Grad von Sprödigkeit besitzt, oder man gebraucht eine Mischung aus Harz, Terpentin und weissem Pech.*) Manchmal hat man die Elektrophorkuchen auch aus Guttapercha und Hartgummi bereitet; erstere Substanz ist jedoch sehr veränderlich und verliert nur zu bald ihre elektrischen Eigenschaften. Hartkautschuk liefert mehr Elektricität als eine Harzscheibe, doch kommt es vor, dass sich diese Substanz wirft und unter der Einwirkung des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft an ihrer Oberfläche chemische Veränderungen erleidet, welche dem elektrischen Zustand der Scheibe hinderlich sind. Sind diese Veränderungen mit der Elektrophorplatte geschehen, so kann sie wieder durch Waschen mit gewöhnlichem Wasser oder auch mit einer alkalischen Lösung brauchbar gemacht werden. Immerhin leisten Elektrophorkuchen aus Hartgummi die

Fig. 18.



*) Recht wirksam und dabei wenig spröde soll jene Mischung sein, welche Böttger empfiehlt und die aus 5 Gewichtstheilen Schellack, ebensovielen Gewichtstheilen Mastix, 2 Theilen venetianischen Terpentin und 1 Theil Marineleim, der aus Schellack, Kautschuck und Steinkohlentheer zusammengesetzt ist, besteht.

besten Dienste, weil die Oberfläche eines solchen Kuchens sehr eben ist, was für die Wirksamkeit des Elektrophors von Belang ist.

Der Deckel des Elektrophors ist eine am Rande abgerundete kreisförmige Scheibe aus Messing oder Zinn, oder aus Holz, das mit Stanniol überkleidet ist; seine untere Fläche, welche auf den Kuchen zu liegen kommt, muss vollkommen eben sein. Der Durchmesser des Deckels ist etwas kleiner, als jener des Elektrophorkuchens.

Um den Elektrophor in Wirksamkeit zu setzen, reibt oder schlägt man den Kuchen mit Pelzwerk; der letztere erhält auf diese Weise negative Elektricität, welche so stark sein kann, dass, wenn man dem Kuchen einen Fingerknöchel nähert, ein elektrischer Funke überspringt, dessen Knistern man vernimmt und der im Dunkeln leicht zu sehen ist. Setzt man den Deckel auf den Kuchen, so wird die positive Elektricität des ersteren in seinen unteren Theil gezogen und gebunden, die negative Elektricität des Deckels aber wird in dessen Oberseite abgestossen und kann durch Berührung des Deckels zur Erde abgeleitet werden. Hebt man nun den Deckel isolirt ab, so wird die bisher gebundene positive Elektricität frei und breitet sich in regulärer Weise über die Oberfläche des Deckels aus. Die in dem letzteren vorhandene Elektricitätsmenge besitzt eine ziemlich grosse Spannung und man kann leicht Funken von 4 cm Länge dem Deckel entlocken. Lichtenberg konnte aus dem Deckel seines Elektrophors, bei dem die leitende Scheibe 5 Fuss Durchmesser, der Kuchen 6 Fuss Durchmesser hatte, Funken bis zu 16 Zoll Länge ziehen.

Hat man die Scheibe einmal entladen, so genügt es, dieselbe wieder auf den dielektrischen Kuchen zu setzen, sie zu berühren und abzuheben, um eine neue positive Elektricitätsmenge auf ihr anzusammeln. Um des jedesmaligen Berührens des Elektrophordeckels enthoben zu sein, hat man verschiedene Vorrichtungen getroffen. So klebt man von der einen Seite der metallischen Bodenplatte oder des Tellers ausgehend einen schmalen Stanniolstreifen radial auf den Elektrophorkuchen, der bis unter den Rand des Deckels reicht; es wird dann die negative Elektricität des letzteren direct durch den Stanniolstreifen zur Erde abgeleitet. Philipps hat in der Mitte der Kuchenplatte einen Metallstift angebracht, der mit der Metallunterlage in leitender Verbindung ist und genau bis an die Oberfläche des Kuchens reicht. Es wird durch diese Vorrichtung ebenfalls die leitende Verbindung zwischen dem Deckel und dem Erdboden hergestellt.

Würde man den Deckel abheben, ohne ihn früher ableitend berührt zu haben, so würden die früher getrennten Elektricitäten sich wieder vereinigen und der Deckel würde unelektrisch erscheinen.

Wir haben in den bisherigen Erklärungen die Wirkungsweise der Form, auf welcher der Kuchen liegt, unberücksichtigt gelassen; die Rolle derselben ist aber — wie leicht zu ersehen ist — ebenfalls eine wichtige. Die negative Elektricität des Kuchens, welche durch Reiben erzeugt wurde, zieht nämlich die positive Elektricität der Unterlage an und stösst die negative ab. Diese letztere geht zur Erde, wenn die Form nicht isolirt ist. Wird nun der Deckel auf den Kuchen aufgesetzt,

so erfolgt die früher erörterte Vertheilung im ersteren, die gebundene positive Elektricität des Deckels bindet ihrerseits die negative des Kuchens und die positive Elektricität der Form, welche früher gebunden war, wird nun frei. Dadurch, dass wir den Deckel und die Form in leitende Verbindung mit einander bringen, entwickelt sich in dem Schliessungskreise ein Ausgleich der Elektricitäten, ein elektrischer Strom. Beim Abheben des Deckels erfolgt die Influenzwirkung der negativen Kuchenoberfläche auf die Metallform von neuem.

Würde die Form isolirt bleiben, so würde die positive Elektricität, welche beim Aufsetzen des Deckels nicht abfliessen kann, der Influenzwirkung, welche die geriebene Fläche des Dielektrikums auf den Deckel ausübt, hindernd in den Weg treten. Es ist deshalb wichtig, die Form abzuleiten.

Es ist leicht zu ersehen, dass die Form folgende wichtige Rolle spielt: Die positive Elektricität, mit welcher die Form durch Influenz geladen wird, zieht die negative Elektricität des Kuchens nach unten und bewirkt, dass diese Elektricität tiefer in die Masse des Elektrophorkuchens eindringt. Dadurch wird die Elektricitäts-Zerstreuung von der Oberfläche des Kuchens ganz bedeutend vermindert, und es ist dieser Umstand ein Grund, dass der einmal geriebene Elektrophor seine Elektricität lange Zeit erhält, eine Erscheinung, die unter dem Namen Tenacität des Kuchens bekannt ist. Uebrigens ist es nach mehrfachen Beobachtungen wahrscheinlich, dass die auf dem Elektrophorkuchen durch Reiben erzeugte negative Elektricität auch in der Masse des ersteren Influenzwirkungen hervorruft, dass eine dielektrische

Polarisation der Molecüle des Kuchens eintritt, welche auf die Oberfläche des letzteren eine Rückwirkung ausübt.

Würde man andererseits den Elektrophorkuchen nicht auf einen Metallteller, sondern etwa auf eine Glasplatte legen, so könnte man bei weitem nicht so starke Wirkungen erzielen, als es bei leitender Unterlage der Fall ist.

Der Grund dieser Erscheinung ist folgender: Durch Reiben des Elektrophorkuchens allein lässt sich auf letzterem nur eine ganz bestimmte und beschränkte freie Elektricitätsmenge entwickeln; alle weiter entwickelte Elektricität würde aber an das Reibzeug übergehen und sich mit der dort auch durch den Reibungsprocess erzeugten entgegengesetzten Elektricität neutralisiren. Bei Anwesenheit der Form wirkt dieselbe aber wie eine Condensatorplatte; die in ihr durch Influenz entstandene positive Elektricität bindet nämlich die negative freie Elektricität der Kuchenoberfläche und es kann von neuem durch Schlagen mit dem Pelzwerke negative Elektricität erregt werden. Man kann also behaupten, es werde durch die Benutzung der metallischen Unterlage die Grenze der Ladung weiter hinausgeschoben.

Zum Schlusse noch einige Worte über die Thatsache, dass die negative Elektricität des Elektrophorkuchens nicht direct auf den Deckel übergeht. Wenn man den letzteren auf den Kuchen aufsetzt und den Deckel ableitend berührt, so wird es allerdings immer geschehen, dass ein kleiner Bruchtheil der negativen Elektricität des Kuchens durch den Deckel zur Erde

abfliesst. Der grösste Theil der negativen Elektricität bleibt aber auf der Oberfläche des Kuchens, weil erstens die Berührung zwischen Kuchen und Deckel nicht gleichmässig über die ganze Oberfläche hergestellt ist und weil andererseits — wie bereits früher angegeben wurde — die negative Elektricität des Kuchens nicht nur an der Oberfläche des letzteren sitzt, sondern auch dessen Masse durchdringt.

Einer merkwürdigen Erscheinung, die man bei stark elektrisirten Kuchen mitunter beobachtete, müssen wir noch gedenken. Setzt man den Deckel, ohne ihn abzuleiten, auf einen solchen Kuchen und hebt ihn wieder ab, so findet man ihn — entgegen den oben gemachten Bemerkungen — positiv elektrisch. Der Grund dieses Phänomens kann ein zweifacher sein: Bei starker Ladung des Kuchens wird auch die von demselben abgestossene negative Elektricität des Deckels bedeutende Spannung besitzen und zum Theile in die Luft zerstreut werden, zum Theile durch die Stützen entweichen. Beim Abheben des Deckels wird derselbe daher im Ueberschusse positive Elektricität enthalten. Andererseits ist es immerhin möglich, dass das beim Reiben stark positiv elektrisch werdende Pelzzeug einen Theil der Elektricität an den Kuchen abgibt, welche dann beim Aufsetzen des Deckels in denselben übergeht und beim Abheben desselben erst entfernt wird.

Wir haben den Erscheinungen des Elektrophors aus dem Grunde besondere Aufmerksamkeit geschenkt, weil dieses Instrument als Princip für mehrere wichtige Apparate, die zur Erzeugung hochgespannter Elektricität dienen, gelten kann.

Man wird somit nach dem Vorhergehenden durch Aufsetzen, Berühren und Abheben des Deckels von einem geriebenen Elektrophorkuchen jedesmal eine bestimmte Elektricitätsmenge etwa auf einen Conductor überführen oder transportiren können, und es ist klar, dass die so erzeugte Elektricitätsmenge der Geschwindigkeit der aufeinanderfolgenden Operationen proportional sein wird. Man wäre so im Stande, auf einem Conductor Elektricität von einem sehr hohen Potentiale zu sammeln. Dieser Elektricitäts-Anhäufung würde nur eine Grenze durch die Elektricitätsverluste gesetzt werden, welche durch die umgebende Luft und die nicht gehörige Isolirung der Stützen bewirkt wird. Natürlich würde der Kuchen allmählich seine Elektricität verlieren und er müsste von neuem elektrisirt werden.

Misslich bleibt es aber unter den erwähnten Umständen, dass man den Deckel fortwährend berühren und abheben muss. Wir werden später Maschinen kennen lernen, in welchen dieses Problem in bequemer Weise gelöst wird.

Doppel-Elektrophor.

Der nachherigen Reibung des Elektrophorkuchens, von der wir gerade oben sprachen, kann man entgehen, wenn man zwei Elektrophore verwendet. Denken wir uns nämlich, der eine Kuchen *A* sei durch Reiben mit Pelz schwach negativ elektrisch geworden, der andere *B* aber sei in neutralem Zustande. Legt man den Deckel auf den Kuchen *A*, so wird der erstere nach Berührung und Abheben sich positiv elektrisch erweisen. Setzt man nun diesen Deckel mit

seinem Rande auf den zweiten Kuchen B, so wird die erzeugte Elektricität sich auf demselben absetzen. Man kann dann in ganz analoger Weise die Elektricität des zweiten Kuchens benützen, um den Deckel negativ zu elektrisiren, die negative Elektricität wieder auf dem ersten Kuchen A absetzen u. s. w. Man erkennt, dass man durch dieses allerdings auch höchst umständliche Verfahren nach und nach die beiden Kuchen sehr stark entgegengesetzt laden kann. Diese Methode, Elektricitätsmengen zu vervielfältigen oder zu multipliciren; war bereits Lichtenberg bekannt, der sie ausführlich (1778) beschreibt. Wieder finden wir sie in der »Collezione delle opere« (1816) von Volta erwähnt. Bei diesem Verfahren entfällt daher die oftmalige Elektrisirung des Kuchens durch Reiben. Das Princip, welches dem Doppel-Elektrophor von Volta zu Grunde liegt, werden wir in den meisten der jetzt zu beschreibenden Maschinen wiederfinden, bei welchen Elektricitätsmengen von bedeutender Spannung hervorgerufen werden, aber auch in Apparaten, welche weniger zu dem Behufe construirt wurden, bedeutende Elektricitätsmengen zu liefern, als vielmehr kleine Elektricitätsquantitäten so zu vergrössern, dass sie leichter beobachtet werden können, oder Ladungen constant zu erhalten u. s. w. Auch den letztgenannten Apparaten, welche in ihrer Mehrheit von dem genialsten Physiker der Gegenwart, Sir William Thomson, construirt wurden, wollen wir volle Aufmerksamkeit schenken.

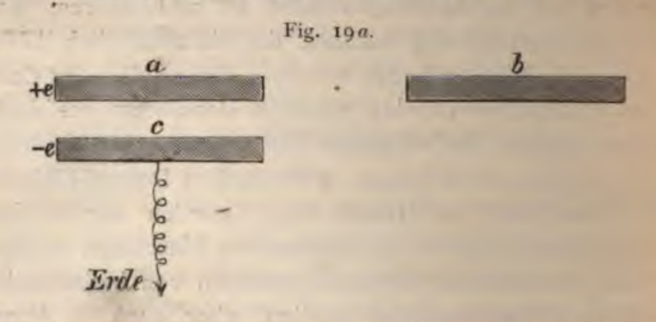
Duplicatoren der Elektricität.

Zur Vergrösserung der Elektricitätsmenge wandte man gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts mit

Vorliebe die sogenannten **Duplicatoren** an, die allerdings wenig befriedigende Resultate liefern. In einer historischen Darstellung des Entwicklungsganges der Influenzmaschinen müssen aber auch diese Apparate ihren Platz finden. Theoretisch werden sie immer von Interesse bleiben.

Bei diesen Apparaten spielen ausschliesslich leitende Körper eine Rolle. Der Grundgedanke dieser Apparate wird deutlich vor Augen treten, wenn wir die Ein-

Fig. 19*a*.



richtung und Wirkungsweise des **Bennet'schen Duplicators** vom Jahre 1787 zuerst beschreiben.

Duplicator von Bennet.

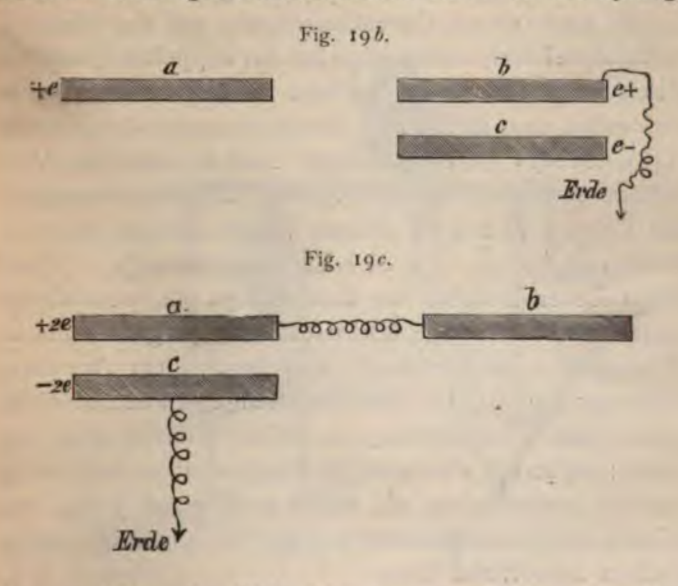
Von drei leitenden isolirten Platten *a*, *b*, *c* sind die beiden ersten fest, die dritte ist beweglich.

Denken wir uns, es werde z. B. (Fig. 19a) der ersten Scheibe *a* eine positive Elektricitätsmenge $+e$ mitgetheilt, und die bewegliche Platte *c*, die mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht, werde der ersten Platte genähert. Durch Influenzwirkung erhält dann *c* eine negative Elektricitätsmenge, welche, wenn die Platten *a* und *c*

einander sehr nahe stehen, sich nicht sehr von — *e* unterscheiden wird. Nun hebt man (Fig. 19b) die Verbindung der Platte *c* mit der Erde auf, isolirt diese Scheibe und stellt sie der festen Scheibe *b* gegenüber, von der wir voraussetzen, dass sie zur Erde abgeleitet ist. Durch Influenz der negativen Elektricität von *c* auf *b* empfängt

Fig. 19*b*.

Fig. 19*c*.



letztere Platte eine Elektricitätsmenge, die unter den oben gemachten Voraussetzungen sich nicht viel von + *e* unterscheiden wird. Nun wird (Fig. 19c) *b* wieder isolirt, mit der anderen festen Platte *a* leitend verbunden, der letzteren die zur Erde abgeleitete Platte *c* wieder nahe gebracht. Es vereinigt sich dann fast die gesammte Elektricität der Platten *a* und *b*, die 2 *e* beträgt, auf der ersteren, und wenn man *c* zur Erde ableitet, so erhält diese Platte

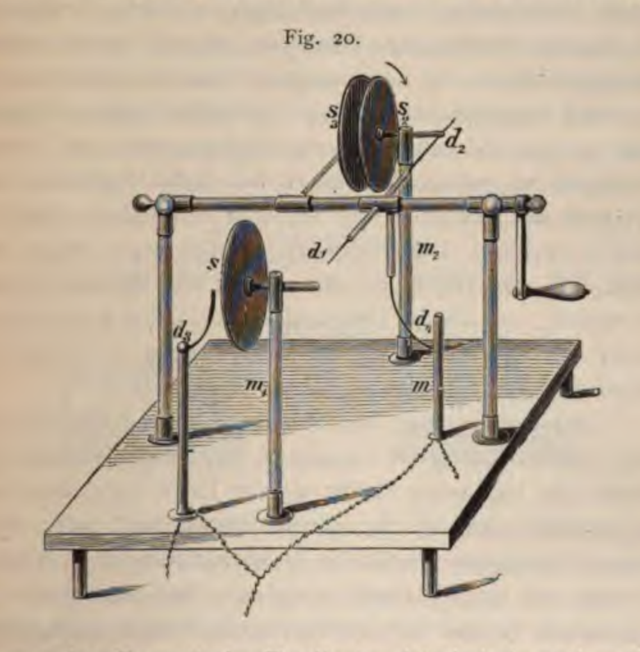
die Elektricitätsmenge — 2 *e*, also die doppelte Elektricitätsmenge wie vorhin. Wenn man *a* und *b* von einander trennt, so kann man die Operationen, die in der Figur schematisch angedeutet sind, wiederholen und auf *a* immer grösser werdende Elektricitätsmengen ansammeln, welche das Gesetz einer geometrischen Progression befolgen. Da die nach einem Operationencyclus auf der Platte *a* vorhandene Elektricitätsmenge fast der doppelten Quantität gleich ist, welche auf der Platte zu Beginn des Cyclus vorhanden war, so hat man diesem Apparate den Namen »Duplicator« gegeben. In der That ist aber das Verhältniss zweier aufeinanderfolgender Elektricitätsmengen der Platte *a* nicht 1 : 2, weil die Voraussetzung, dass eine Elektricitätsmenge + *e* eine Elektricitätsmenge — *e* auf einem Leiter inducirt, nur dann strenge gilt, wenn dieser Leiter die inducirende Elektricitätsmenge ganz umhüllt (Theorem von Faraday), was in unserem Apparate nicht der Fall ist. Es wird also strenge genommen nicht genau eine Verdoppelung der Elektricitätsmengen eintreten; immerhin aber wird die Elektricität so multiplicirt werden können, dass sie leicht auch einen wenig empfindlichen Elektricitäts-Messapparat beeinflusst und sogar Funken hervorrufen kann.

Die nachfolgenden Verbesserungen des Duplicators bestanden darin, dass die leitenden Verbindungen, welche man in einem Operationscyclus herzustellen hat, auf mechanischem Wege vollzogen wurden. Derartige Duplicatoren wurden von Cavallo, Bohnenberger, der im Jahre 1798 »unterschiedliche Elektricitäts-Verdoppler« beschrieb, Munk af Rosenschöld und anderen construirt.

Duplicator von Nicholson.

Ein grosser Fortschritt in der Construction der Duplicatoren vollzog sich, als Nicholson im Jahre 1788 seinen Revolving doubler herstellte, der im Principe

Fig. 20.



genau der Bennet'sche Duplicator ist, bei dem aber die Bewegungen drehende sind, so dass der Apparat um vieles leichter als seine Vorgänger zu handhaben ist.

Der Duplicator von Nicholson wird aus obenstehender Fig. 20 ersichtlich. Die beiden Platten S_1 und S_2 aus Metall sind vertical und gut isolirt, sie werden von den Metallstäben d_1 und d_2 getragen; die ebenfalls verticale

Metallplatte S_3 befindet sich auf einer gläsernen Axe mittelst eines Stieles befestigt und kann durch eine Kurbel um diese Axe gedreht werden. So oft die Scheibe bei ihrer Drehung der Scheibe S_1 gegenübersteht, kommt sie mittelst einer an ihr schleifenden Feder d_3, die mit einem Metallstabe zusammenhängt, mit dem Erdboden in leitende Verbindung. Wie man aus der Figur ersieht, befindet sich an der Drehungsaxe noch eine Metallhülse, die drei Metalldrähte trägt. Die beiden ersten Drähte sind gerade und senkrecht zur Drehungsaxe; der dritte Draht ist so gebogen, dass er bei jeder Rotation des Systems den ebenfalls mit der Erde verbundenen Metallstab m berührt. Der rückwärtige horizontale Draht berührt bei der Drehung alternirend die Metallstäbchen d_1 und d_2; der andere Draht ist etwas kürzer und kommt daher nur mit dem Stabe d_2 in Berührung, welcher der Rotationsaxe etwas näher als d_1 steht.

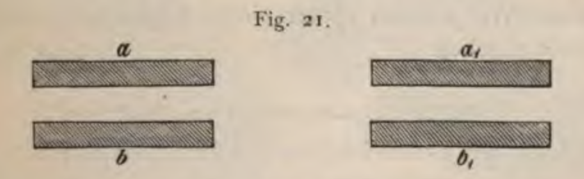
Zuerst theilt man der Scheibe S_1 etwas Elektricität mit; kommt nun S_3 der Scheibe S_1 gegenüber, so wird S_3 durch den federnden Draht d_3 zur Erde abgeleitet und es sammelt sich auf S_3 Influenz-Elektricität erster Art, also z. B. negative, wenn S_1 positive Elektricität erhielt. Erfolgt nun eine Weiterdrehung um 180°, so kommt S_3 gegenüber S_2 und es wird durch die beiden nun mit der Scheibe S_2 in metallischem Contacte stehenden Drähte diese Scheibe zur Erde abgeleitet und auf ihr durch S_3 Elektricität influenzirt, welche mit jener gleichnamig ist, die ursprünglich der Scheibe S_1 mitgetheilt wurde. Dreht man wieder um 180° weiter, so kommt die Platte S_3 S_1 gegenüber, es wird dann durch die Metalldrähte bewirkt, dass die beiden Platten S_1 und S_2 leitend verbunden sind.

Unter der condensirenden Wirkung von S_3 wird ein grosser Theil der in S_2 angesammelten Elektricität auf S_1 übergehen und die daselbst befindliche Elektricitätsmenge gesteigert. Nachdem man einige Zeit die Rotation unterhalten hatte, werden zwischen den Scheiben S_1 und S_3 Funken entstehen, welche auf eine ziemlich hohe Spannung der in denselben gesammelten Elektricitäten hinweisen. Der Apparat fungirt dann wie eine Elektrisirmaschine. Man findet die Operationen, die beim Bennet-schen Duplicator vorgenommen werden müssen, bei dem Revolving doubler von Nicholson genau wieder.

Doppel-Condensator.

Um die Elektricität zu vervielfältigen, hat man

Fig. 21.



auch den Doppel-Condensator in Anwendung gebracht; wir wollen an dieser Stelle nur das Princip des Instrumentes angeben. Die Platten a und a_1 (Fig. 21) zweier Condensatoren sind isolirt, die beiden anderen Platten b und b_1 mit einander leitend verbunden. Laden wir a z. B. positiv elektrisch und verbinden b mit der Erde, so wird auf dieser Platte negative Elektricität sich ansammeln, die bei Entfernung von a und ableitender Berührung von a_1 beinahe vollständig auf b_1 überfliesst und auf a_1 eine nahezu gleiche Menge positiver Elektricität bindet. Man bringt nun a wieder b

gegenüber, vollführt genau dieselben Operationen und kann in der Weise die Elektricitätsmenge in a_1 vergrössern. Man kann nun auch a_1 als Elektricitätsquelle benützen und die Ladung von a verstärken. Dieser Doppel-Condensator wurde von Svanberg im Jahre 1847 angegeben. Auch bei ihm wird eine Multiplication elektrischer Ladungen durch Influenzwirkungen und durch Transport erreicht.

Das Princip des Duplicators wurde bei der Herstellung vieler Apparate in Anwendung gebracht; bei den meisten derselben hatte man aber keinen anderen Zweck vor Augen, als eine geringe Elektricitätsmenge soweit zu vervielfältigen, dass sie für elektrometrische Versuche geeignet ist, oder eine Ladung constant zu erhalten. Wir werden später einige Apparate dieser Art namhaft machen.

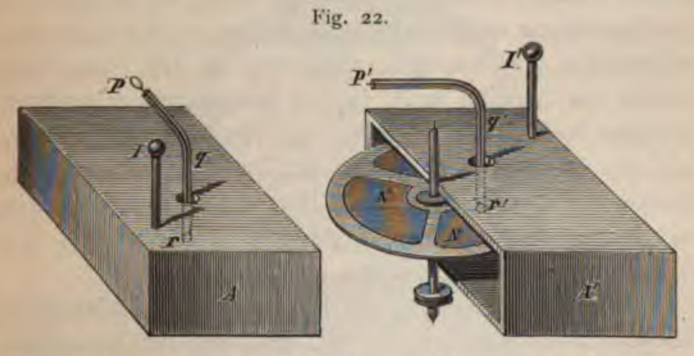
Elektricitäts-Generator von Belli.

Aber auch um bedeutende Elektricitätsquantitäten zu entwickeln, wurde der Grundgedanke der Duplicatoren fortgebildet, und wir erwähnen diesbezüglich den Elektricitäts-Generator von Belli (1831). Um eine verticale Axe kann eine Glasscheibe (Fig. 22) rasch gedreht werden. Dieselbe ist auf der Oberfläche mit drei Stanniolausschnitten beklebt, welche einander nirgends berühren; sie sind in der Figur durch N angedeutet. Man kann über die sich drehende Scheibe einen in zwei Theile A und A_1 getheilten Kasten schieben, der aus doppelten Eisenblechwänden derart verfertigt ist, dass diese Wände durch eine isolirende Harzmasse von einander getrennt sind. Von den Innenwänden dieses Kastens gehen die

beiden Metalldrähte I und I^1 aus, welche, damit sie nirgends die Aussenwände berühren, in Glasröhren eingekittet sind. Die durch kleine Oeffnungen r und r' im Deckel des Kastens gehenden ebenfalls isolirten Drähte tragen an ihrem unteren Ende Metallbürsten, mittelst deren sie auf der Scheibe schleifen.

Um den Apparat in Wirksamkeit zu setzen, ladet man die innere Wand der einen Kastenhälfte A nur schwach positiv elektrisch (mittelst des Metalldrahtes I).

Fig. 22.



Jene Belegungen der Scheibe, welche innerhalb dieses Kastentheiles sich befinden und durch den Bürstendraht pqr mit der Erde ableitend verbunden sind, werden durch Influenz negative Elektricität erhalten und bei der Drehung der Scheibe an die Metallbürste des Drahtes $p'\,q'\,r'$ abgeben. Ist der letztgenannte Draht jetzt mit der inneren Wand der Kastenhälfte A_1 verbunden, so wird dieselbe somit negativ elektrisch, und das in um so bedeutenderem Grade, je länger die Rotation der Scheibe unterhalten wird. Hat man auf diese Weise die innere Wand der Kastenhälfte A_1 genügend negativ elektrisch gemacht,

so verbindet man $p' q' r'$ mit der Erde, hingegen $p q r$ mit der Innenwand der ersten Kastenhälfte A, die wieder stärker positiv elektrisch wird. So kann man es dahin bringen, dass die Innenwände der beiden Kastentheile bedeutende Elektricitätsquantitäten besitzen, welche ihrerseits dazu dienen können, die Ladung eines Conductors mit hochgespannter negativer oder positiver Elektricität zu bewerkstelligen.

Wollen wir z. B. mittelst des Belli'schen Apparates einen Conductor positiv elektrisch laden, so werden die inneren Wände isolirt, der Conductor mit $p q r$ verbunden, während $p' q' r'$ zur Erde abgeleitet ist. Die beim Verweilen der Scheibe in A_1 in den Belegungen gebundene positive Elektricität wird bei der Rotation der Scheibe auf den Draht $p q r$ und den mit letzterem verbundenen Conductor übertragen. Hätte man die Verbindungen in entgegengesetzter Weise hergestellt, so würde man den Conductor negativ elektrisch geladen haben.

Die Maschine von Belli gibt schon bedeutende Elektricitätsquantitäten, sie hat aber die Unzukömmlichkeit, dass man fortwährend die Leitung umändern muss.

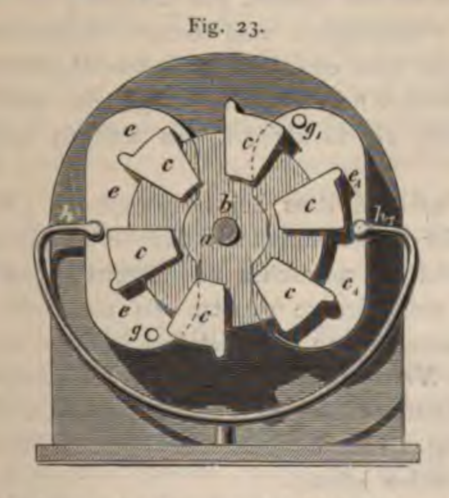
Eine andere in diese Gruppe gehörige Elektrisirmaschine, die schon viel bequemer zu handhaben ist, ist die von dem Engländer C. F. Varley construirte, die wir im Nachfolgenden beschreiben.

Elektrisirmaschine von Varley.

In der Fig. 23 nehmen wir eine Reihe metallischer, eigenthümlich geformter Leiter c wahr, welche auf einer Ebonitscheibe b festgemacht sind, die um eine Axe a in rasche Drehung versetzt werden kann. Sowohl die Scheibe

als auch die an ihr befindlichen Metall-Lamellen rotiren zwischen den beiden Metallbacken e und e_1, welche analog den Kastenhälften des Belli'schen Apparates fast die ganze Scheibe bedecken. Diese Metallbacken werden Inductoren genannt. Die beiden Metallknöpfe h und h_1, welche von den einzelnen Metall-Lamellen bei ihrer Drehung streifend berührt werden, sind mit der Erde leitend ver-

Fig. 23.



bunden. Andererseits können die Metall-Lamellen c mit den Backen durch die hervorragenden Stifte g und g_1 in leitende Verbindung treten, und es haben zu diesem Behufe die ersteren die eigenthümlichen hervorspringenden Metallzähne.

Man theilt nun der einen Backe e Elektricität, etwa positive, mit. Eine Metall-Lamelle, die gerade den mit der Erde verbundenen Knopf h berührt, erhält dann negative Elektricität, während die positive zur Erde abgeleitet

wird. Bei der Weiterdrehung der Scheiben gelangen die in der Weise negativ elektrischen Metallflügel an g_1 und geben ihre Elektricitätsmenge an die Metallbacke e_1 ab. Die Metallblätter werden also neutral und es wird in ihnen durch den nunmehr negativ elektrischen Inductor e_1 eine positive Elektricitätsmenge inducirt, nachdem sie den Knopf h_1 passirt haben. Die positive Ladung der Metall-Lamellen wird nun mittelst des Knopfes g an den ersten Inductor e abgegeben und dessen Elektricitätsmenge erhöht. Nun wird eine jede an h vorbeigehende Metall-Lamelle stärker negativ elektrisch geladen als früher und macht auch die Elektricität des zweiten Inductors e_1 stärker.

Man erkennt, dass bei fortwährender Drehung die Ladung der beiden Inductoren immer bedeutender wird, und es wird den anwachsenden Elektricitätsmengen nur insoferne eine Grenze gesetzt, als die Elektricität bei hoher Spannung von den Metallen in Form von Funken entweicht. Verbindet man die beiden Inductoren e und e_1 mit Conductoren, so wird auf denselben nach einigen Umdrehungen eine beträchtliche Potential-Differenz hergestellt werden können.

Manchmal sind die Knöpfe h und h_1 durch einen Metallbogen mit einander verbunden, und dies ist auch in der obigen Figur dargestellt. In diesem Falle ist die gerade an h streifende Metall-Lamelle und die ihr gegenüberstehende h_1 berührende Metall-Lamelle einen Augenblick leitend verbunden und es wird bei der ersteren eine negative, bei der letzteren eine positive Ladung entstehen. Bei diesem Arrangement muss man einen der Inductoren zur Erde ableiten.

Wenn wir nun die im Vorigen dargestellten Apparate in ihren Constructionen überblicken, so finden wir, dass sie aus theils feststehenden, theils beweglichen isolirten Leitern von verschiedenen Formen bestehen. Die feststehenden werden je nach dem Zwecke, dem sie dienen, Inductoren, Empfänger oder Regeneratoren, d. h. Ladungserhalter genannt. Die beweglichen führen durchwegs den Namen der Uebertrager. Die Inductoren umgeben zum grössten Theile die Uebertrager; letztere behalten, wenn sie aus den Inductoren austreten, noch immer geringe Elektricitätsmengen zurück und deshalb können die Maschinen vom theoretischen Standpunkte niemals den höchsten Grad der Vollkommenheit erreichen. Das letztere lässt sich niemals erzielen, weil, wenn die Inductoren die Uebertrager vollständig umschliessen würden, eine Bewegung der letzteren ausgeschlossen wäre.

Metallinductor von Töpler.

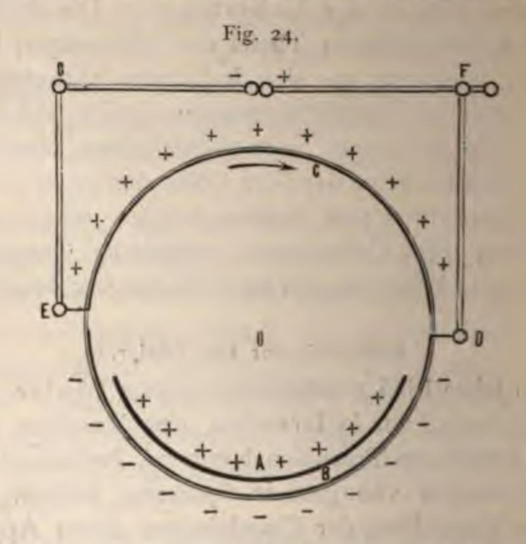
Im Jahre 1865 construirte Professor Töpler, derzeit am Polytechnikum in Dresden, eine Maschine, die auf früher erwähnten Principien beruhend, bedeutende Elektricitätsmengen von grosser Spannung lieferte. Bevor wir zur Darstellung der Einzelnheiten dieses Apparates übergehen, wollen wir das Princip derselben an der umstehenden Figur erörtern.

Stellen wir uns der Einfachheit halber vor, A (Fig. 24) sei eine cylindrisch gekrümmte Metallplatte oder eine ebenso gekrümmte Glasplatte, auf welcher ein Stanniolbeleg aufgeklebt ist. Diese Metallplatte befindet sich innerhalb eines Cylinders aus Glas, der ebenfalls mit zwei einander nicht berührenden Stanniolbelegen B und C

beklebt ist und sich im Sinne des angedeuteten Pfeiles um seine durch O gehende Axe drehen kann. D und E stellen Federn aus Metall dar, die auf den Belegungen B und C schleifen können und mit den Conductoren F und G in leitender Verbindung stehen.

Laden wir nun die Metallplatte A etwa positiv elektrisch und stellen wir uns vor, der Cylinder habe in

Fig. 24.



diesem Momente die aus der Figur ersichtliche Lage. Zunächst ist es klar, dass A eine Influenzwirkung auf B ausübt; die negative Elektricität von B wird angezogen, die positive Elektricität durch die Schleiffeder D nach F und in die damit verbundene Conductorkugel getrieben. Wir stellen uns vor, die beiden von F und G ausgehenden Conductoren seien von einander getrennt. Die durch F in die Kugel abgestossene Elektricität wirkt nun wieder

vertheilend auf das Leitersystem $G\,E\,C$, die negative Elektricität wird in die F gegenüberstehende Kugel angezogen, die abgestossene Elektricität macht den Stanniolbeleg C positiv elektrisch.

Bei fortgesetzter Drehung im Sinne des Pfeiles werden nun zunächst die Belegungen B und C von ihren Schleiffedern D und E entfernt und behalten ihre negative respective positive Ladung, während der Conductor F positiv, der Conductor G negativ elektrisch ist. Im Laufe der ferneren Drehung gelangt C in Contact mit der Feder D des Conductors F, gibt an denselben seine positive Elektricität ab, ebenso kommt B an E und ertheilt dem G eine neue elektrische Ladung vom negativen Zeichen. Kommt das nun seiner Elektricität zum grössten Theile beraubte C vor A, so wiederholen sich die Vorgänge; es wird die positive Elektricität nach F getrieben, der Beleg C selbst aber jetzt negativ elektrisch u. s. w. Es ändert somit im Laufe jeder Umdrehung jeder der beiden Belege sein elektrisches Zeichen. Nach einigen Rotationen ist die Spannung der Elektricität in den mit F und G verbundenen, einander gegenüberstehenden Kugelconductoren so bedeutend, dass ein lebhafter Funkenstrom zwischen denselben auftritt.

Es stellen somit in der Töpler'schen Maschine, deren Princip nun angegeben wurde, die beiden Belegungen die Elektricitätsübertrager vor, während die Metallplatte oder der Metallbeleg A als Inductor fungirt.

Die auf diese theoretischen Betrachtungen hin construirte Maschine hat folgende, durch Fig. 25 dargestellte Einrichtung: Eine um eine verticale Axe drehbare Glasscheibe (die Drehung wird mittelst eines Schnurlaufes

vollzogen und kann von solcher Geschwindigkeit sein, dass ungefähr 18 Rotationen in der Minute vollzogen

Fig. 25.



werden) trägt auf der unteren Seite zwei grosse Stanniolsegmente *A*, *B*, auf der oberen Seite zwei diesen entsprechende, ungefähr 6 cm breite, nahezu halbkreisförmige

Stanniolstreifen *q* und *p*, welche mit den correspondirenden Stanniolsegmenten leitend verbunden sind. Zwei entgegengesetzt gekrümmte Metallfedern *e* und *f* schleifen derart auf der Scheibe, dass immer, wenn die eine Feder auf *p* zu stehen kommt, die andere *q* berührt. Sie sind an Metallstäben angebracht, die in Kugeln ausgehen, welche von anderen, die eigentlichen Conductoren *i* und *k* tragenden Metallstäben durchsetzt werden. Mittelst Ebonithandgriffen lassen sich *i* und *k* nähern oder von einander entfernen. Wir bemerken noch zwei Spitzen *r* und *s*, die mit den von *e* und *f* kommenden Metallstäben leitend verbunden sind; ihren Zweck werden wir bald kennen lernen.

Unter der Glasscheibe, und zwar ziemlich nahe derselben, befindet sich eine isolirte Metallplatte *A'*, welche der Inductor des Apparates ist. Die Platte hat ungefähr dieselben Dimensionen, wie eines der Stanniolsegmente.

Vergleicht man den Apparat mit der früheren schematischen Figur, so erkennt man, dass den Theilen *B*, *C* und *A* der letzteren die Theile *Aq*, *Bp* und *A'* des Apparates entsprechen.

Theilen wir der Inductorplatte nur geringe Elektricitätsmengen mit, z. B. in der Weise, dass wir den positiven Pol einer Zamboni'schen Säule an dieselbe halten, so wird, wenn wir einen Moment ins Auge fassen, der einer ein wenig früheren Position der Glasscheibe entspricht, *Aq* negativ, *i* hingegen positiv elektrisch. Die negative Elektricität der erwähnten Segmente wird nun auf *ek* übertragen und *k* somit negativ elektrisch. Das zweite Segment *B* kommt nun an die Stelle des ersten, und der Process dauert so lange, als die Drehung anhält.

6*

Ist die Spannung der Elektricitäten bei fortgesetzter Drehung zu einem bestimmten Werthe angewachsen, so entstehen im Apparate selbst elektrische Ausgleichungen, insbesondere bemerkt man einen feinen Funkenstrom zwischen den Stanniolbelegungen und der Inductorplatte. Dies tritt insbesondere dann ein, wenn die beiden Kugeln *i* und *k* sehr weit von einander entfernt sind, die Elektricitäten derselben sich daher nur sehr schwer auf der zwischen ihnen gelegenen Luftstrecke ausgleichen können. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, hat man einerseits als Inductor eine auf der Oberseite mit Schellack überzogene, auf der Unterseite mit Stanniol belegte Glasplatte genommen, andererseits hat man die Conductoren mit den Stiften *r* und *s* verbunden, durch welche bei zu grosser Potentialdifferenz der Ausgleich der Elektricitäten sich vollzieht. Beim Ruhen der Scheibe nimmt die elektrische Dichte des Inductors sehr schnell ab und nach kurzer Zeit kommt die Maschine ganz ausser Wirksamkeit.

Zur Constanthaltung des Potentiales der Inductorplatte bediente sich Töpler einer zweiten, ganz ähnlich construirten Maschine, welche in unserer Figur unter der ersten dargestellt ist. Um dieselbe verticale Drehungsaxe kann sich nämlich noch eine kleinere Scheibe drehen, bei welcher die den Theilen der oberen Scheibe entsprechenden Theile mit kleinen Buchstaben versehen sind. Der Inductor der ersten Maschine ist mit e_1 leitend verbunden, der Inductor der zweiten Maschine mit *k*. Der Conductor *i* der ersten Maschine ist isolirt, die Feder f_1 hingegen zur Erde abgeleitet.

Es ist nach dem früher Gesagten begreiflich, dass, wenn der Inductor A_1 positiv geladen wurde, *k* und somit

der Inductor a_1 negativ elektrisch werden; dann wird aber auch a positiv elektrisch werden und diese positive Elektricitätsmenge durch die Feder e_1 dem ersten Inductor mitgetheilt werden, so dass das Potential des letzteren constant erhalten wird. Die zweite Maschine wirkt somit als Elektricitätserhalter oder Regenerator.

Professor Töpler hat an dieser von ihm construirten Maschine gezeigt, dass man dem Inductor A_1 keinen elektrisirten Körper nahebringen muss, um die Maschine in Gang zu setzen. Eine Reihe von Umdrehungen genügt, um die Maschine wirken zu sehen, ohne dass man früher dem Conductor auch nur eine geringe Elektricitätsmenge mitgetheilt hat. Diese Selbsterregung der Maschine kann verschiedene Ursachen haben; es kann die Reibung an der Luft oder die Reibung der Schleiffedern Elektricität erregen, welche dann durch das Spiel des Apparates vervielfacht wird. Wie dem immer sei, so viel ist erwiesen, dass die eben beschriebene Töpler'sche Maschine zur Gruppe der selbsterregenden gezählt werden kann.

Die vorstehende Maschine, ebenso alle anderen mit metallischen Uebertragern, wie z. B. die früher beschriebene Maschine von Varley, haben gegenüber den später zu beschreibenden Maschinen, in denen Nichtleiter in Rotation versetzt werden, den Vortheil, dass sie gegen Lufteinflüsse weniger empfindlich sind, als letztere, andererseits haben sie aber gegen diese den Nachtheil, dass sie Selbstentladungen zeigen, eine ziemlich begrenzte Schlagweite besitzen und discontinuirliche Ströme liefern.

Wir werden im weiteren Verlaufe unserer Darstellung der Influenz-Elektrisirmaschinen noch einmal auf

die von Töpler seit 1865 erdachten Constructionen zurückkommen und Apparate angeben, bei denen schon schwache Ladungen genügen, um die Maschinen zu den stärksten Leistungen zu veranlassen.

Bevor wir zu den von Holtz construirten Maschinen übergehen, deren Erfindung in dieselbe Zeit, wie jene der Töpler'schen fällt, wollen wir einiger einfacheren Apparate gedenken, bei denen die Elektricitäts-Uebertragung durch eine isolirende Scheibe vollzogen wird.

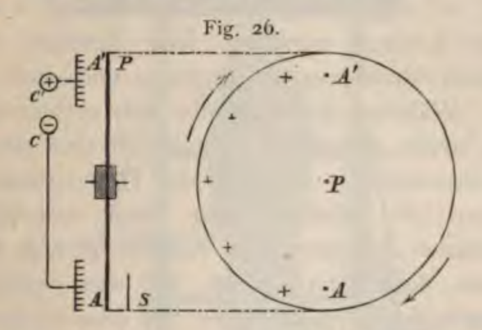
Maschine von Bertsch.

Wohl zu den einfachsten Elektrisirmaschinen dieser Art gehört die in Fig. 26 dargestellte. Man hat diesen Apparat mit Recht als einen Elektrophor mit rotirendem Deckel bezeichnet. Im Wesentlichen besteht er aus einer Scheibe aus Hartgummi *P*, welche sich ohne Reibung zwischen einem Systeme von zwei Metallkämmen *A* und *A'* einerseits und einem Ebonitsector *S*, der sich gegenüber dem unteren Theile der Scheibe befindet, drehen kann. Der letztere dient als Inductor.

Will man die Maschine in Wirksamkeit bringen, so reibt man den Inductor *S* mit einem Pelzwerke; er erhält negative Elektricität. Die Influenzwirkung des geriebenen Hartgummistückes auf die bewegliche Isolatorscheibe ist gegen jene zu vernachlässigen, welche auf den gegenüberstehenden Metallkamm ausgeübt wird. Im letzteren erfolgt eine Trennung der beiden elektrischen Fluida; positive Elektricität strömt vom Kamme gegen den unteren Theil der beweglichen Scheibe, die negative Elektricität wird in das Ende eines Conductors *C* abgestossen, welcher mit dem Metallkamme *A* in leitender

Verbindung steht. Bei der Rotation der Scheibe kommt die auf dem unteren Theile derselben befindliche positive Elektricitätsmenge dem Kamme A' gegenüber, zieht aus demselben die negative Elektricität und stösst die positive Elektricität in den Conductor C'. Die erstere Elektricität neutralisirt die Elektricität der rotirenden Scheibe, so dass letztere beim Verlassen des Kammes A' ungeladen ist. Sind die beiden Elektroden C und C' auf ein genügend hohes Potential geladen, so erfolgt zwischen denselben ein continuirlicher Funkenstrom.

Fig. 26.



Die von Bertsch construirte Maschine hatte eine Scheibe von 50 cm Durchmesser und lieferte Funken von 10—15 cm Länge; in Geissler'schen Röhren von mehr als 2 m Länge rief sie die bekannten brillanten Lichterscheinungen hervor.

Riche hat eine ähnliche Maschine wie Bertsch construirt, als isolirendes Material wandte er aber trockenes Papier an.

Misslich ist an der Maschine von Bertsch der Umstand, dass sie bald zu wirken aufhört, was dann eintritt, wenn die Elektricität des Inductors sich in der

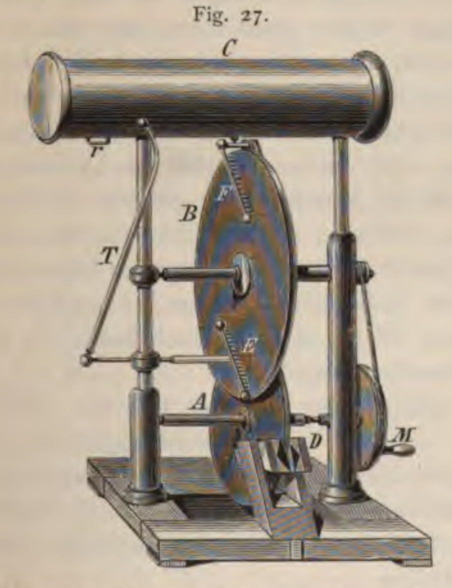
Luft verliert; dann nutzt eine weitere Drehung der beweglichen Scheibe nichts mehr. Die Verbindung einer Reibungs-Elektrisirmaschine mit dieser Maschine hilft dieser Unzukömmlichkeit ab, und dies wurde in der nun folgenden Maschine ausgeführt.

Maschine von Carré.

Diese Maschine besteht im Wesentlichen aus zwei Scheiben, welche sich im entgegengesetzten Sinne drehen können. Die grössere von diesen Scheiben *B* (Fig. 27) ist aus Hartgummi, die kleinere *A* aus Glas verfertigt. Letztere wird bei ihrer Rotation zwischen den beiden Reibkissen *D* gerieben und dient als Inductor. Während diese Scheibe sich verhältnissmässig langsam dreht, erhält die Scheibe *B* eine sehr rasche Rotationsbewegung. Wie aus der Figur ersichtlich ist, überdecken die Scheiben zum Theile einander. Der Ebonitscheibe *B* stehen zwei Kämme *E* und *F* gegenüber, von denen der zweite mit dem cylindrischen Metallconductor *C*, der andere mit dem in eine Kugel endigenden Stabe *T* in Verbindung steht. Das Spiel der Maschine ist leicht zu verstehen. Die positive Elektricität der geriebenen Glasscheibe wirkt durch die Scheibe *B* influenzirend auf den Saugkamm *E*, zieht aus demselben negative Elektricität, welche sich auf der Scheibe *B* absetzt; in Folge dessen wird die Conductorkugel positiv elektrisch. Die negative Elektricität der dielektrischen Scheibe gelangt gegen den Saugkamm *F* und zieht aus demselben positive Elektricität, welche die erstere neutralisirt; der Conductor *C* selbst wird negativ elektrisch.

Bringt man die Kugel dem Conductor C genügend nahe, so springen zwischen diesen Leitern in continuirlicher Weise Funken über. Man hat mit einer Carré-schen Maschine, der man öfter den Namen »dielektrische Maschine« ertheilt hat, Funken von 15 cm erreicht, wenn die Durchmesser der beiden Scheiben A

Fig. 27.



und B respective 38 und 49 cm waren. Es lässt sich die Energie der elektrischen Funken beträchtlich steigern, wenn man die beiden Conductoren mit den Belegungen einer Leydnerflasche verbindet, welche man an dem in der Figur mit r bezeichneten Ringe mittelst eines von der inneren Belegung der Flasche ausgehenden Häkchens aufhängen kann. Der untere Kamm der Maschine kann

entweder isolirt oder durch ein Kettchen in leitende Verbindung mit der Erde gebracht werden.

Zu bemerken ist noch, dass Carré bedeutendere Wirkungen erzielte, als er den zweiten Saugkamm *F* einer fixen Ebonitplatte (in der Figur hinter der Scheibe befindlich) gegenüberstellte. Diese war mit Belegungen versehen, die in Spitzen endigen; es dient dieses Ebonitplättchen als zweiter Inductor, und wir werden die Wirkungsweise dieses Beleges in den bald zu beschreibenden Holtz'schen Maschinen kennen lernen.

Die Maschine von Carré liefert gute Resultate, und es genügt, eine kleine Anzahl von Drehungen vorzunehmen, um die Maschine zur grössten Wirksamkeit zu veranlassen. Nur das ist zu bemerken, dass nach einiger Zeit die Ebonitscheibe ihre isolirenden Eigenschaften verliert und die Oberfläche derselben in der schon wiederholt angegebenen Weise (Reiben von Schmirgelpapier u. dgl.) erneuert werden muss.

Vor einiger Zeit hat Le Dantec eine Maschine construirt, die als eine Verbesserung der Carré'schen Maschine zu betrachten ist und bequem gestattet, die Wirkungsweise verschiedener Maschinen (z. B. der von Guerike, Ramsden, Nairne, Bertsch und Carré) zu demonstriren.

Maschine von Holtz.

Zu derselben Zeit, als Töpler seine Metall-Inductoren construirte, fertigte W. Holtz unabhängig von den diesbezüglichen Forschungen des erstgenannten Physikers eine Elektrisirmaschine an, welche von ihm selbst und

von anderen Gelehrten im Laufe von kaum zwei Decennien vielfach modificirt und vervollkommnet wurde.

Es wurde im April 1865 die Holtz'sche Influenzmaschine der Berliner Akademie gezeigt.

Die Holtz'schen Maschinen sind gewöhnlich unter dem Namen Influenzmaschinen bekannt; doch wurden sie je nach der Auffassung ihrer Wirkungsweise auch Elektromaschinen oder Elektrophor-Maschinen genannt.

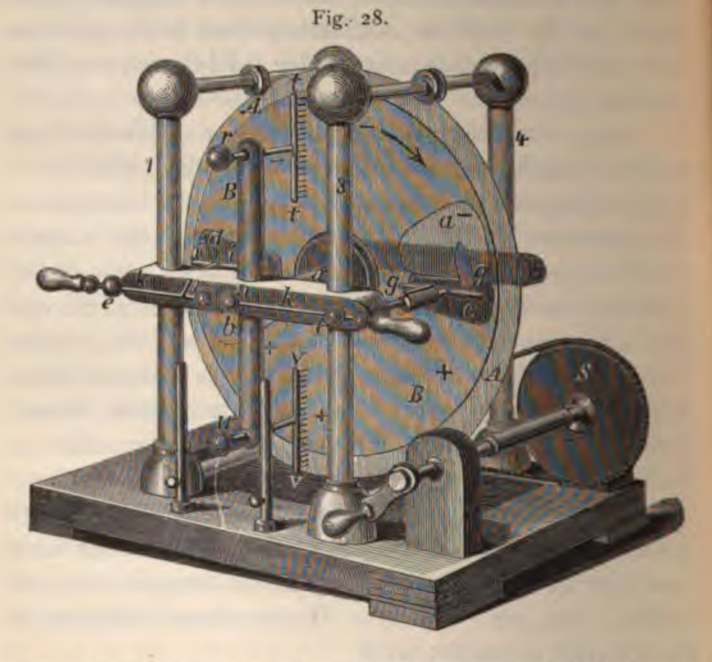
Wenn man die Wirkungsweise der zahlreich construirten Maschinen von Holtz überblickt, kann man wohl behaupten, dass ihnen das von Volta angegebene Multiplications-Verfahren, nach welchem man den Kuchen eines Elektrophors reibt, mit dem Deckel des ersten Elektrophors den Kuchen eines zweiten elektrisirt, mit dem Deckel des letzteren den Kuchen des ersten Elektrophors stärker ladet u. s. w., zu Grunde liegt. Allerdings ist dieses oben ausführlich dargestellte Princip in der Holtz'schen Maschine in einer sehr modificirten Form zur Anwendung gekommen.

Wir gehen nun zur Beschreibung einer Holtz'schen Influenzmaschine, wie sie gewöhnlich angewendet wird, über. Die in der Figur 28 dargestellte Maschine ist eine solche, wie sie von dem Hannoveraner Mechaniker Borchardt construirt wird.

Auf einer hölzernen Basis befinden sich vier verticale Glassäulen, die durch die Ziffern 1, 2, 3, 4 gekennzeichnet sind; die beiden Glassäulen 1 und 2, ebenso 3 und 4 sind oben und unten durch horizontale Glasstäbe verbunden. In der Mitte eines jeden dieser Glasstäbe befindet sich eine am Rande eingefurchte Rolle

aus Ebonit, die mittelst eines Schraubengewindes verstellbar ist. Von diesen Rollen wird eine Glasscheibe A getragen und in verticaler Stellung erhalten; in dieser Scheibe befinden sich diametral gegenüber zwei Ausschnitte *a* und *b*. Durch die Mitte dieser Scheibe, an

Fig. 28.



deren Stelle eine grosse centrale Oeffnung sich befindet, geht die Rotationsaxe einer zweiten der ersten sehr nahe befindlichen Scheibe aus dünnem Spiegelglase, die ebenfalls wie die erstgenannte Scheibe mit Schellackfirniss überzogen ist. Es ist der Durchmesser dieser Scheibe um etwas kleiner, als jener der feststehenden Scheibe,

ıd erstere kann in ihrer Ebene in schnelle Umdrehung
:wa fünf- bis zehnmal in der Secunde) versetzt werden.

Auf der feststehenden Scheibe und zwar auf der
:r drehbaren Scheibe abgekehrten Hinterseite befinden
:h die Inductoren, welche Papierbelegungen darstellen.
ieselben stehen in Verbindung mit schmalen ihnen
:genüber auf die Vorderseite der Scheibe geklebten
ıpierstreifen, welche in zugespitzte Streifen von Karten-
ıpier ausgehen, die in die betreffenden Ausschnitte
neinragen. Gewöhnlich überzieht man auch die Bele-
ıngen und die Spitzen mit Schellackfirniss. Wir werden
ıäter die Rolle der Belegungen als Inductoren kennen
rnen.

Die Drehungsaxe der Scheibe ist auch aus Ebonit
:rfertigt und an den beiden Enden mit Stahlzapfen
:rsehen, von denen der vordere in einem Lager läuft,
elches an dem ebenfalls aus Ebonit hergestellten Quer-
ılken k, der zwischen den Glassäulen 1 und 3 sich
:findet, angebracht ist; das Lager für den hinteren
ahlzapfen ist in einem dem ersten parallelen, die Glas-
äbe 2 und 4 verbindenden Querbalken.

Die bewegliche Scheibe B befindet sich an ihrer
.xe zwischen zwei Hartgummischeiben, von welcher die
ne mit der Rotationsaxe zusammenhängt, während die
ıdere abgeschraubt werden kann. Die Drehung der
:heibe kann mittelst einer Kurbel vollzogen werden;
ırch einen einfachen Mechanismus kann bewirkt werden,
ıss bei einmaliger Umdrehung der Kurbel die beweg-
:he Scheibe mehrere Rotationen vollführt.

Vor der beweglichen Scheibe befinden sich zwei
olirte Conductoren, welche in Kämme gg und ii endigen,

die gegen die Papierbelegungen gekehrt sind; die beiden Conductorstäbe durchsetzen das Querstück *k k* und endigen in Kugeln *e* und *f*, welche von anderen der Scheibe parallelen Stäben durchsetzt werden, die in die eigentlichen Conductorkugeln *n* und *p* ausgehen. Letztere können mittelst Ebonithandhaben nach Wunsch einander genähert oder von einander entfernt werden.

In der in der Fig. 28 dargestellten Holtz'schen Influenzmaschine nehmen wir wahr, dass zwischen der Kugel *f* und dem Kamme *g g* ein isolirendes Stück eingesetzt ist und dass die leitende Verbindung zwischen diesen beiden Theilen durch einen ebenfalls aus der Figur ersichtlichen Metalldraht hergestellt wird.

Es kann dieser verbindende Metallbogen unter Umständen, auf die wir später zu sprechen kommen, entfernt werden. Wir bemerken noch zwei Saugkämme *t t* und *r r*, welche gegen die früher genannten um 90° Winkelentfernung abstehen und mittelst Metallträger in eine Ebonitstange eingelassen sind, welche *k k* durchsetzt. Den Zweck dieser sogenannten überzähligen Conductoren wird der Leser nach der Darstellung der Theorie dieser Maschine erkennen.

Um die Maschine zu erregen, bringen wir zunächst die beiden Conductoren *n* und *p* mittelst der isolirenden Handhaben zur Berührung. Man reibt eine dünne Ebonitplatte mit einem Pelzstücke, wodurch dasselbe negativ elektrisch wird, und hält sie rückwärts an die Papierbelegung *e*; hierbei dreht man die bewegliche Scheibe rasch in einer Richtung, welche jener der Spitzen der Papierbelegungen entgegengesetzt ist, die also durch die in Fig. 28 ersichtlichen Pfeile angegeben wird.

Sind die Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft günstig, so vernimmt man alsbald ein eigenthümliches Brausen, welches das Functioniren des Apparates anzeigt. Man entfernt die geriebene Ebonitplatte und kann in continuirlicher Weise Elektricität erzeugen, wenn man die Drehung fortsetzt. Man kann einen continuirlichen Funkenstrom zwischen den Elektroden *p* und *n*, die man von einander entfernt (allerdings nicht zu weit), erzeugen. Diese Funken sind von bläulich weisser Farbe und zeigen vielfache Knickungen. Bei zu grosser Entfernung der Elektroden hört die Maschine bald zu wirken auf.

Fig. 29.



Bringt man die nicht zu weit von einander entfernten Kugeln *p* und *n* einzeln in leitende Verbindung mit den Armaturen einer Leydnerflasche, so wird der früher fast continuirliche Funkenstrom aufhören und es springen in grösseren Zeitintervallen zwischen den Conductoren Funken über, die sehr energisch sind und ziemlich heftig knattern; ihre Farbe ist weisser als jene der früher erwähnten Funkenströme. Die Energie dieser Funken hängt wesentlich von der Capacität der Batterie ab.

Den meisten Influenzmaschinen, die vom Systeme Holtz sind, sind zwei kleine Leydnerflaschen beigegeben, die auf dem Fussgestelle der Maschine vor der beweglichen Scheibe aufgestellt sind. Die äusseren Belegungen

dieser Leydnerflaschen werden miteinander verbunden, die inneren Belegungen sind im metallischen Contacte mit den Conductorkugeln. Es wirken daher solche Leydnerflaschen nach Art von Cascaden-Batterien, und es ist bei Anwendung derselben möglich, längere Funken zu erhalten, und andererseits das allzuleichte Aufhören der Wirkung der Maschine zu verhindern.

Recht sinnreich und einfach ist eine diesbezügliche, von Holtz ersonnene Condensations-Vorrichtung. Er verwendet (Fig. 29) eine an beiden Enden offene Glasröhre G, welche an beiden Seiten nahe an ihren Enden sowohl auf der Innen-, als auch auf der Aussenseite mit Stanniolringen $b\,b$ und $b_1 b_1$ belegt ist. Die inneren Belegungen sind durch schmale Stanniolstreifen S mit einander verbunden. Ein Theil der äusseren Belegungen ist mit Holzfassungen H bedeckt, welche sich auf die Zuleiter an den Elektroden C, C_1 auflegen.

Theorie der Wirkungsweise der Holtz'schen Influenzmaschine.

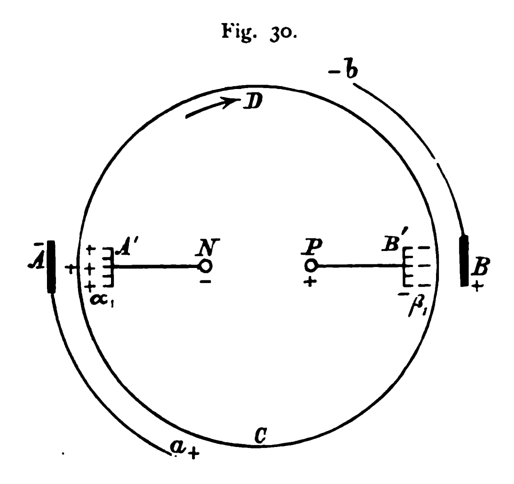
Im Vorigen wurde angegeben, wie eine solche Maschine in Wirksamkeit versetzt werden kann; wir wollen im Nachfolgenden die Rolle, welche die einzelnen Theile der Maschine während des Functionirens derselben spielen, näher untersuchen.

Wir denken uns, um die Erläuterungen zu vereinfachen, die drehbare Scheibe durch eine cylindrische Glasröhre $C\,D$ von grossem Durchmesser (Fig. 30) ersetzt, der aussen diametral gegenüber die Papierbelegungen A und B sich befinden, welche in die Spitzen a und b ausgehen. Im Innern des beweglichen Glascylinders denken wir uns die beiden Metallarme $A^1\,N$ und $B^1\,P$

befindlich, welche einerseits in die Conductorkugeln N und P, andererseits in die Saugkämme A^1 und B^1 endigen. Kurz gesagt, wir stellen uns vor, dass wir statt einer Holtz'schen Scheibenmaschine eine Cylindermaschine nach demselben System betrachten würden.*)

Wir setzen nun voraus, die beiden Conductoren P und N seien in Contact, und wir theilen der Belegung A

Fig. 30.



durch eine mit einem Felle geriebene Ebonitplatte negative Elektricität mit. Diese Elektricitätsmenge wird sowohl eine dielektrische Polarisation in dem drehbaren Glas-

*) Mascart erwähnt in seinem Lehrbuche der statischen Elektricität, dass eine solche Holtz'sche Cylinder-Influenzmaschine in der That von Saint-Loupe construirt wurde, welche befriedigende Resultate gab. Uebrigens hat bereits Holtz selbst eine Cylinder-Influenzmaschine construirt, bei welcher der Cylinder aus Hartgummi verfertigt war. Die Anwendung des Ebonits zur Construction der Scheiben der Maschine wurde auch von Mechaniker Schlösser

cylinder veranlassen, als auch influenzirend auf den Kamm A^1 und das damit verbundene Leitersystem wirken. Es wird aus diesem Kamme positive Elektricität auf die Vorderseite der rotirenden Scheibe, d. i. auf jene, welche dem Kamme zugekehrt ist, strömen, und diese übergetretene Elektricität befördert noch die dielektrische Polarisation der Glasmoleküle. Die abgestossene negative Elektricität wird bis B_1 getrieben und tritt — wenigstens theilweise — auf die Vorderseite der rotirenden Scheibe bei β_1 über. Man bemerkt in der That an der in verdunkeltem Raume functionirenden Iufluenzmaschine, dass von dem Kamme A^1 (in der Fig. 28 $g\,g$) eine Menge Büschel positiver Elektricität auf die rotirende Scheibe überströmen, während die von dem Kamme B^1 (in der Fig. 28 $i\,i$) überströmende negative Elektricität sich in leuchtenden Pünktchen zeigt, welche an den Spitzen des Saugkammes erscheinen.

Durch die vom Kamme B^1 übertretende negative Elektricität wird zunächst eine dielektrische Polarisation der Glasmoleküle der rotirenden Scheibe erzeugt, derart, dass die Moleküle ihre positiven Enden der Vorderfläche, ihre negativen der Hinterfläche der Scheibe zukehren, andererseits wird in die Papierbelegung + Elektricität

in Königsberg gehandhabt. Es sind die Ansichten über die Wirkungsweise von Ebonitscheiben sehr getheilt. Einige finden die mit ihnen erzielten Resultate ausgezeichnet, andere perhorresciren sie, weil Ebonit sich an seiner Oberfläche sehr rasch verändert und seine isolirenden Eigenschaften durch Ueberziehen mit einer Schwefelsäureschicht bald verliert. Wir werden späterhin noch die Maschine von **Bleckrode** beschreiben, bei welcher ebenfalls statt Glasscheiben Ebonitscheiben benutzt werden.

gezogen, während die — Elektricität in die Spitze b abgestossen wird.

Denken wir uns die Scheibe im Sinne des Pfeiles, also gegen die Papierspitzen gedreht, so kommt die Stelle a_1 der ersteren, welche an der Vorderfläche durch die übergeströmte positive Elektricität positiv elektrisch ist, und auch an der Rückfläche zufolge der Polarisation der Moleküle positive Elektricität besitzt, in die Nachbarschaft der Spitze b, welche influenzirt wird; die negative Elektricität geht von der letzteren auf die Hinterfläche der Scheibe über, während in die Papierbelegung B neuerdings positive Elektricität abgestossen wird, dieselbe sich also stärker positiv ladet. Die Folge dieser stärkeren Ladung des Papierbeleges B wird sein, dass noch mehr negative Elektricität aus dem Kamme B^1 gezogen wird, was zum Theil auch durch die positive Elektricität der Vorderseite der von A^1 kommenden Scheibe gefördert wird. Es ist somit die rotirende Scheibe jetzt an den Stellen, welche den Kamm B^1 passirt haben, sowohl an der Vorder- als auch an der Rückseite negativ elektrisch; ersteres wurde durch die aus dem Kamme strömende negative Elektricität, letzteres durch die aus der Papierspitze b übergegangene Elektricität veranlasst. Dreht man die Scheibe über B^1 und C gegen A^1, so bewirkt die negative Elektricität derselben ein erneutes Ausströmen von + Elektricität aus der Spite a gegen die Hinterfläche der Scheibe und von + Elektricität aus den Spitzen gegen die Vorderseite der Scheibe, welche also ihre negative Ladung mit einer positiven vertauscht. Die Papierbelegung A wird zufolge dieser Vorgänge noch stärker negativ elektrisch geladen, als vordem.

Durch Multiplication der Ladungen kann die Dichte der nach P und N abgestossenen positiven und negativen Elektricitäten so bedeutend werden, dass man die Conductoren von einander entfernen kann und ein continuirlicher Ausgleich der entgegengesetzten Elektricitäten in den zwischen den Kugeln überspringenden Funken sich vollzieht. Man kann nach dem oben Gesagten leicht erkennen, dass die beiden Seiten der rotirenden Scheibe (respective des Cylinders) immer an der oberen Seite positiv, an der unteren negativ elektrisch sind.

Eine bemerkenswerthe Erscheinung lässt sich nach dem Vorstehenden unschwer erklären: Man bemerkt nämlich, dass der continuirliche Funkenstrom, welcher aus jenem Kamme fliesst, welcher der ursprünglich elektrisirten Belegung gegenübersteht, nicht geradlinig auf die rotirende Scheibe stürzt, sondern sich in einer Richtung krümmt, welche jener der Bewegung der Scheibe entgegengesetzt ist. Die Büschel positiven Lichtes sind also von A^1 gegen C gekrümmt. Es rührt dies von der Anziehung der negativen Elektricität der von B über C nach A kommenden Scheibentheile, ebenso von der Abstossung der positiven Elektricität her, welche sich auf jenen Scheibentheilen befindet, die A^1 passirt haben. Infolge der elektrischen Fernwirkungen ladet sich die Hinterfläche der rotirenden Scheibe schon in einer gewissen Entfernung von a und b positiv, respective negativ elektrisch; analog strömt aus denselben Gründen die positive Elektricität aus A^1 abwärts, die negative Elektricität aus B^1 aufwärts der rotirenden Scheibe entgegen.

Dass bei zu grossem Abstande der beiden Conductorkugeln die Wirkung der Maschine aufhört, wird in fol-

Weise erklärt: In dem erwähnten Falle können
h sowohl die positive Elektricität aus dem Kamme
g. 28) als auch die negative Elektricität aus dem
n Kamme *i i* nicht mehr in hinreichender Weise
: rotirende Scheibe übergehen und es nimmt dem-
: die Ladung dieser Scheibe ab, während die beiden
ysteme *g f n* und *i k p* sich sehr stark negativ,
:ive positiv laden. In diesem Falle werden dann
ı *D* in der Fig. 30 kommenden positiven Theile
orderseite der Glasscheibe positiv bleiben, auch
sie vor dem Kamme B^1 vorüber gekommen sind,
erden, wenn sie in die Nähe der Papierspitze *a*
en, aus derselben negative Elektricität ziehen,
ıd die positive Elektricität in den Papierbeleg ge-
wird und dort dessen negative Elektricität neu-
: oder sogar im Ueberschusse sich dort ansammeln
)ie durch die Papierspitze *a* auf die Hinterfläche
heibe diesfalls übergegangene negative Elektricität
ei der Weiterdrehung der Spitze *b* nahe kommen,
:rselben positive Elektricität ziehen und negative
B stossen; dort wird letztere die früher anwesende
: Elektricität neutralisiren, und wenn sie in genügen-
ıantität vorhanden ist, das elektrische Zeichen der
›elegung *B* umkehren. Der Erfolg dieser Influenz-
gen wird also der sein, das die Wirkung der
ne aufhört oder sogar die letztere ihre Polarität
rt. Das erkennt man leicht daran, dass die an den
ımmen im Dunkeln auftretenden Lichterscheinungen
nkehren.

ie Umkehrungs-Erscheinungen an der Influenz-
ne treten insbesondere dann leicht auf, wenn man

die beiden Elektroden der Maschine in leitende Verbindung mit den Belegungen einer grossen isolirten Leydnerflaschen-Batterie bringt. Dem misslichen Umstande der Umkehrung der Ladungen kann man in mehrfacher Weise begegnen, und wir werden im weiteren Verlaufe dieser Schrift im Detail die constructiven Mittel beschreiben, welche man zu diesem Behufe in Anwendung brachte. So viel ist jetzt schon leicht einzusehen, dass man die Papierbelegungen vergrössert und dadurch die elektrische Ladung auf denselben steigert. In diesem Falle wird nämlich die von den Spitzen gegen die Papierbelegungen abgestossene Elektricität gegen die dort befindliche entgegengesetzte Elektricität nicht so in Uebermacht sein, dass sie ausser der Neutralisation des Beleges noch eine entgegengesetzte Ladung desselben hervorruft. Man hat in der That in allen neueren Holtz'schen Influenzmaschinen die Papierbelegungen so gross gemacht, dass eine jede von ihnen ungefähr einen Sector von 60° umfasst.

Wir sind bei den vorstehenden Erklärungen den Anschauungen Wiedemann's gefolgt, welche im Wesentlichen schon früher von Righi in Bologna und Mascart ausgesprochen wurden. Die oben gegebene Erklärung der Wirkungsweise der Influenzmaschine scheint uns die plausibelste zu sein.

Weitere Bemerkungen über die Wirkung der Influenzmaschinen.

Man hat vielfache Versuche gemacht, welche sich auf die Aenderung der Belege und Spitzen beziehen.

Bei [illegible] schlechten Leiter eignen sich [illegible] Glimmer-

belegungen die Wirkung der Maschine beträchtlich. In diesem Falle können nämlich die in die Belege abgestossenen Elektricitäten nur schwer in dieselben übertreten. Wählt man die Belegungen aus Metallen, so geht die auf ihnen ursprünglich angesammelte Elektricitätsmenge in die Spitze, erlangt dort eine grosse Dichte und geht direct auf die rotirende Scheibe über. Es würde dann ein Effect eintreten, welcher dem beabsichtigten entgegengesetzt ist. Man wählt daher am allerbesten Papierbelege, welche mittelmässige Leiter der Elektricität sind, darf aber die Papierfortsätze nicht allzu spitz wählen, weil dann die ursprünglich der Belegung ertheilte Elektricität zu leicht durch dieselben zur Scheibe abfliesst. Poggendorff, der viele Jahre sich dem Studium der Holtz'schen Influenzmaschine widmete, hat auch gezeigt, dass mehrere Spitzen keine so gute Wirkung wie eine einzige veranlassen.

Andere Experimente wurden über die Lage der Papierbelegungen und der Spitzen gemacht. Man hat in Erfahrung gebracht, dass die Maschine nicht in Wirksamkeit kommt, wenn die Belege auf jener Seite der festen Scheibe liegen, welche der rotirenden zugekehrt ist, während die Spitzen auf der Hinterseite der fixen Scheibe liegen. In diesem Falle haftet nämlich die aus der Spitze anfänglich entweichende Elektricität auf der äusseren Oberfläche der festen Scheibe und es kann nicht leicht eine weitere Zerlegung der Elektricitäten auf der Belegung stattfinden.

An Stelle der Oeffnungen brachte Poggendorff einfache Spalten an, welche in der gewöhnlichen Weise mit Papierbelegungen versehen waren; die Maschine

functionirte aber nicht in dem Massstabe wie eine solche, bei welcher die Oeffnungen gross waren. Man ist der Meinung, dass die zwischen den Scheiben gebildete Quantität Ozon (Andere glauben, die durch die Entladungen in der Luft erzeugte Untersalpetersäure) sich — wenn keine grossen Oeffnungen angebracht sind — nicht entfernen kann und die Elektricität ableitet.

Es sind in neuester Zeit aber doch Maschinen construirt worden, bei denen die feste Scheibe keine Oeffnungen hatte. So hat Pouchkoff, um die Construction der Maschine zu vereinfachen und die Durchbohrung der Oeffnungen an der Scheibe zu vermeiden, was immer eine ziemlich schwierige und für die Scheibe gefährliche Arbeit ist, die Belegungen aussen an die Scheibe geklebt, die Spitzen jedoch auf die Innenseite der letzteren. Jede Belegung wurde mit ihrer entsprechenden Spitze durch einen kleinen Papierstreifen verbunden, der auf dem Rande der Scheibe aufgesetzt war. Die so construirte Maschine soll nach den Versuchen Pouchkoff's ebenso gut functioniren, wie eine in der gewöhnlichen Weise construirte Maschine.

Man versuchte auch die feste Scheibe ganz wegzulassen und brachte die Papierbelegungen auf getrennten Glasstreifen an; die Maschine hörte in diesem Falle aber bald zu wirken auf, denn es zerstreut sich die Elektricität der rotirenden Scheibe nur allzu leicht in der Luft. Befindet sich aber der letzteren die fixe Scheibe gegenüber, so erfolgt in dieser durch die Elektricität der beweglichen eine dielektrische Polarisation, welche zur Festhaltung der bewegten Elektricität beiträgt. Durch diese gegenseitige elektrische Anziehung wird

die Zerstreuung der Elektricität von der rotirenden Scheibe möglichst verhindert.

Wir haben bei der Angabe der Ingangsetzung der Maschine den Umstand besonders hervorgehoben, dass man die Scheibe in einer den Spitzen entgegengesetzten Richtung drehen muss. Würde man nämlich in der Richtung $DACB$ (Fig. 30) drehen, so würde die bei α_1 positiv gewordene drehbare Glasscheibe aus der Papierspitze negative Elektricität ziehen und die abgestossene positive Elektricität die ursprüngliche Elektricität der Belegung vernichten.

Die Influenzmaschine von Holtz ist gegen die atmosphärische Feuchtigkeit sehr empfindlich; bei feuchtem Wetter ist man oft nicht im Stande, die Maschine in Gang zu setzen. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, ist es nothwendig, einen trockenen, heissen Luftstrom aus einem eigens für die Maschine construirten Ofen auf sie zu senden oder die Maschine ganz mit einem Glaskasten zu bedecken, der einen doppelten Blechboden besitzt und von unten geheizt werden kann. Auch Trocknen der Luft dieses Kastens mittelst wasserfreier Phosphorsäure oder concentrirter Schwefelsäure leistet oft gute Dienste. Man hat auch darauf zu sehen, dass die Scheiben der Maschine staubfrei sind, da Staub die Elektricität zerstreut. Die Schellackschicht der Scheiben leidet sehr durch die von den Kämmen übergehenden Funken und muss von Zeit zu Zeit erneuert werden.

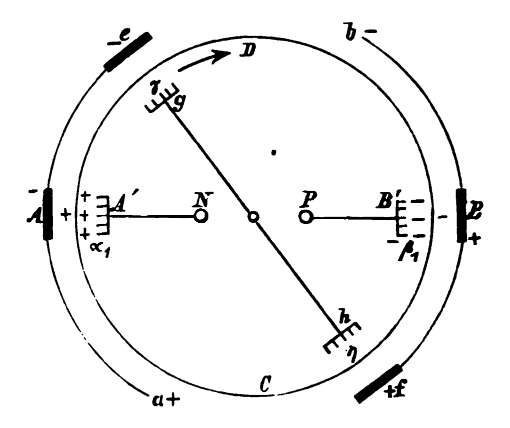
Zur Entfernung des Ozons und der Untersalpetersäure, von welchen Stoffen früher erwähnt wurde, dass sie Elektricität ableiten, bringt man in den Kasten, welcher die Influenzmaschine bedeckt, in einer Schale Leinöl, welches die beiden Gase aufnimmt.

Wir gehen nun im Folgenden zur Beschreib[ung] jener Kunstgriffe über, welche man gebrauchte, um [die] Umkehrung der Polarität zu vermeiden.

Diametraler Conductor.

Schon Holtz brachte vor der rotirenden Scheibe und zu ihr parallel einen leitenden Stab an, der an seinen Enden in Saugkämme ausgeht, deren Spitzen der

Fig. 31.



Scheibe gegenüberstehen. Dieser Leiter kann um eine Axe gedreht werden, welche mit der Axe des ganzen Systems der beiden Scheiben zusammenfällt, und kann deshalb in Lagen gebracht werden, die parallel zu den verschiedenen Durchmessern der beweglichen Scheibe sind.

Um die Wirkungsweise dieses »diametralen« oder »überzähligen« Conductors mit den »neutralen« Kämmen zu erklären, bedienen wir uns wieder der schematischen Figur (Fig. 31), in welcher der rotirende

Cylinder die Glasscheibe ersetzt. Die Papierbelegungen seien gross oder bestehen aus je zwei gesonderten Belegen, welche den Kämmen des Querstabes und jenen des Conductorkammes gegenüberstehen und untereinander durch schmale Papierstreifen verbunden sind. Diese eigenthümliche Art von Papierbelegen hat man in älteren Influenzmaschinen oft angewendet. Wie in der Figur angedeutet ist, soll der diametrale Conductor mit der Verbindungslinie der Hauptkämme einen Winkel von 60° bilden.

Wird die Belegung A und dadurch die mit ihr verbundene Belegung e negativ elektrisch geladen, so ladet sich zufolge der Spitzenwirkung unter der Belegung e die Vorderfläche der Scheibe positiv, während unter der Belegung f dieselbe eine negative Ladung empfängt. Sind die beiden Conductoren P und N in Berührung und es functionirt die Maschine in der gewöhnlichen Weise, dann spielt der diametrale Conductor keine Rolle. Werden nun die beiden Conductoren so weit von einander gezogen, dass zwischen ihnen keine Elektricitätsströmung mehr möglich ist, dann ladet sich $A' N$ und $B' P$ sehr stark negativ, respective positiv elektrisch, und zufolge des Mangels des Elektricitätsflusses aus den Kämmen wird die Vorderseite der Scheibe positiv geladen den Kamm B' passiren; sie würde — wie vorhin erwähnt — bei Abwesenheit des diametralen Conductors aus a — Elektricität ziehen und + Elektricität in die ursprünglich — geladene Belegung A abstossen. Ist aber der neutrale Kamm h vorhanden, dann wird aus demselben die negative Elektricität auf die positiv elektrische Vorderseite der Scheibe strömen, und es wird bewirkt, dass

die positive Elektricität nicht mehr bis zur Papierspitze *a* gelangt.

In derselben Zeit, als aus dem neutralen Kamme *h* negative Elektricität auf die rotirende Scheibe übergeht, fliesst auf letztere aus dem Kamme *g* positive Elektricität und man bemerkt am Kamme *g* im Dunklen positives Büschellicht, am Kamme *h* negatives Glimmlicht. Es wirkt also dann, wenn die Berührung von *P* und *N* aufgehoben wird, der diametrale Conductor wie der ursprüngliche Conductor *A' B'*.

Bemerkt sei an dieser Stelle noch, dass unter gewissen Umständen am Kamme *g* eine Lichterscheinung auftreten kann, welche jener am Kamme *A'* entgegengesetzt ist, und dass ebenso der Kamm *h* entgegengesetzte Elektricität als der Kamm *B'* ausströmen lassen kann. Dies würde dann eintreten, wenn die Belegungen *e* und *f* weiter von der rotirenden Scheibe abstehen würden, denn dann würde die von diesen Belegungen auf die gegenüberstehenden Kämme ausgeübte Influenzwirkung gegen die von der Vorderseite der rotirenden Scheibe erzielte Wirkung zurücktreten.

Man versuchte auch, die Papierbelegungen *A* und *B* ganz wegzulassen, und verband die Belegungen *e* und *f* durch Leiter mit den Spitzen *a* und *b*. Die Maschine functionirte, aber bedeutend schwächer als bei Anwesenheit von Papierbelegungen, welche *A'* und *B'* gegenüberstanden. Das ist begreiflich, denn in diesem Falle wirkt nur die elektrisirte Vorderseite der Scheibe auf die Kämme *A'* und *B'*, die bedeutende Influenzwirkung der Papierbelegungen *A* und *B* fällt aber weg. So gab eine von Riess benützte Influenzmaschine mit vier Belegungen

16 cm Funkenlänge, bei Anwendung von nur zwei Belegen, welche den neutralen Kämmen gegenüberstehen, $14\frac{1}{2}$ cm lange Funken.

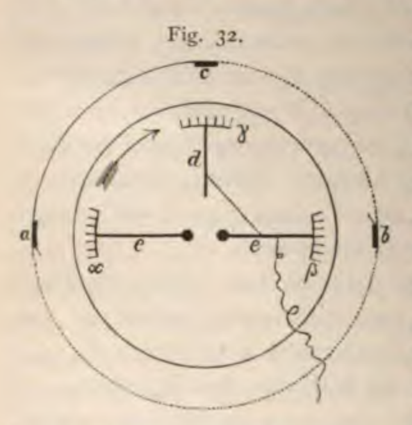
Was den Winkel anbelangt, welchen der diametrale Conductor mit dem eigentlichen Conductor bildet, so ist im Allgemeinen darüber nur Folgendes zu sagen: Derselbe muss bedeutender sein, wenn die Länge der zwischen den Elektroden überspringenden Funken grösser wird. Jedenfalls darf man den diametralen Conductor dem eigentlichen Conductor nicht zu nahe bringen, denn sonst würde er dem letzteren grosse Elektricitätsmengen entziehen; deshalb sagt Professor Poggendorff, der diametrale Conductor wirkt bei grösserem Winkel als Elektricitäts-Conservator, bei kleinem Winkel vernichtet er aber die Elektricität. Bei Funken von 7—8″ Länge kann dieser Winkel 30^0 überschreiten.

In der in Fig. 28 dargestellten Influenzmaschine, wie sie von Borchardt construirt wird, finden wir eine andere Einrichtung des diametralen Conductors. Es sind in Winkelentfernungen von 90^0 von den Hauptkämmen andere Saugkämme, *rtt* und *uvv*, angebracht, welche der rotirenden Scheibe genähert oder von derselben entfernt werden können.

Dadurch, dass man etwa den Arm *rtt* dicht vor die Scheibe bringt und bei in Gang gesetztem Apparate durch einen leitenden Metallbügel eine Verbindung zwischen *rtt* und *fgg* herstellt, verhindert man den Verlust der elektrischen Ladung, auch wenn die beiden Conductoren über die Schlagweite hinaus entfernt wurden. Der Apparat kommt sogleich in volle Wirksamkeit, wenn die Conductoren einander genähert werden.

Die Erklärung der Wirkung dieser Hilfsvorrichtung ist einfach folgende: Sind die Conductorkugeln zu weit entfernt und der überzählige Conductor nicht vorhanden, so hört die Elektricitätsströmung zwischen den Conductorkugeln auf; es kann sich die Scheibe, welche rotirt, bei *gg* nicht mehr genügend stark positiv laden, ebenso bei *ii* nicht mehr genügend negative Elektricität erhalten, und die Maschine hört bald zu wirken auf. Verbindet man jedoch mittelst des Metallbügels den Hauptkamm *gg* mit dem neutralen Kamm *tt*, so wird alsbald die positive Elektricität von *tt* nach *gg* und auf die rotirende Scheibe strömen, während die negative Elektricität bei *tt* auf die letztere übergeht. Dass diese Elektricitätsströmung stattfindet, zeigen auch die am Kamme *tt* auftretenden negativen Lichterscheinungen und die grossen Lichtbüschel, welche nun am Kamme *gg* auftreten. Hat man die Kämme *tt* und *gg* leitend verbunden, die Conductorkugeln aber zur Berührung gebracht, so entweichen sowohl aus dem Kamme *gg*, als auch aus dem Hilfskamme *tt* positive Elektricitäten; die im Dunklen auftretenden Lichtbüschel sind aber um Vieles kleiner, als jene, welche aus dem Kamme *gg* treten, wenn der Hilfskamm *tt* entfernt ist.

Fig. 32.



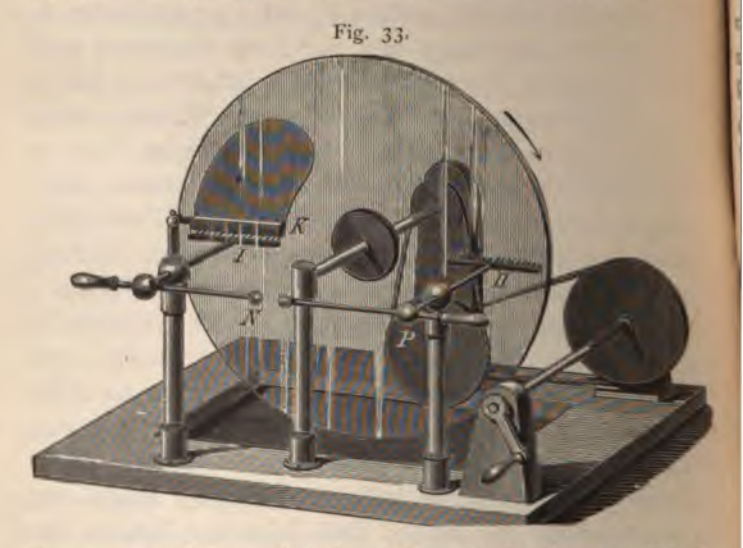
Eine ähnliche Anordnung der Kämme hat bereits Riess im Jahre 1870 angegeben. Er ordnet an der fixen Scheibe drei Belegungen a, b, c an, von denen die beiden ersten, a und b, in gewöhnlicher Weise angebracht sind, während der dritte Beleg c (Fig. 32) von den beiden ersten um 90° absteht und mit a leitend verbunden ist. Allen drei Belegungen stehen Saugkämme gegenüber, von denen diejenigen, welche b und c gegenüberliegen, mit einander verbunden und zur Erde abgeleitet sind. Wenn a positiv, b negativ elektrisch ist, so wird bei zu grosser Entfernung der Conductoren der Kamm α stark positiv, der zweite Kamm β negativ geladen, und es nimmt die zwischen a und α durchgehende Scheibe keine negative Elektricität mehr auf. In diesem Falle wirkt dann der Hilfsconductor $\gamma\beta$, sowie der vorhin beschriebene diametrale Conductor, indem er durch den Kamm γ negative Elektricität auf die Scheibe sendet, während die positive Elektricität zum Theile durch den Kamm β auf die Scheibe übergeht, zum Theile durch den zur Erde geführten Draht abfliesst. Die Erdverbindung hat eine stärkere Ladung des Kammes β und der gegenüberliegenden Scheibenpartie in Folge der von b ausgeübten Influenzwirkung zur Folge; doch kann die dadurch eintretende ungleiche Vertheilung der Elektricitäten auf den mit den Kämmen α und β verbundenen Conductoren manchmal störend wirken.

Maschine von Kundt.

Professor Kundt hat im Jahre 1868 eine Methode angegeben, mittelst welcher man die Umkehrung der Ladung einer Influenzmaschine in anderer Weise ver-

meiden kann, als durch Anwendung von diametralen und Hilfsconductoren. Die Umkehr der Ladungen wird in der Kundt'schen Anordnung dadurch verhindert, dass hinter einem der Sauger ein Reibzeug mit einem Seidenflügel von der Länge eines Quadranten angebracht wird; in diesem Falle entfällt die fixe Scheibe, welche als Träger der Bewegungen dient, und es wirkt die In-

Fig. 33.



fluenzmaschine gleichzeitig als Reibungs-Elektrisirmaschine.

Die Figur 33 gibt die Details der Kundt'schen Maschine an. Die im Sinne des Pfeiles gedrehte Glasscheibe wird auf der Hinterseite durch ein mit Amalgam versehenes Kissen K gerieben, welches isolirend gestützt ist und den in der Figur angedeuteten Seidenflügel trägt. Dem Reibkissen gegenüber und in einer Winkelentfernung

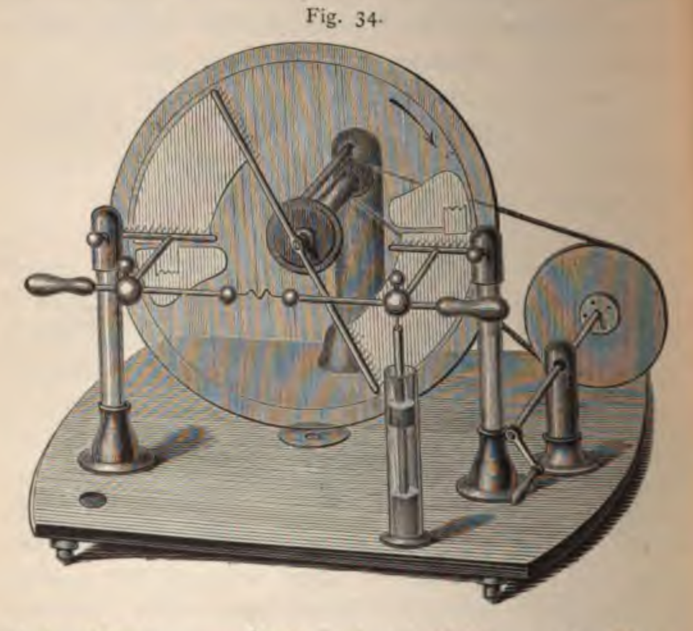
von 180° von demselben befinden sich zwei Saugkämme, welche also in ähnlicher Weise wie bei der Holtz'schen Influenzmaschine angeordnet sind.

Durch die Reibung wird die Scheibe auf ihrer Hinterseite positiv elektrisch und zieht, wenn sie beim Saugkamme *II* angelangt ist, aus demselben negative Elektricität, welche auf die Vorderseite der Scheibe strömt, während der Conductor *P* sich positiv ladet. Kommt nun die Scheibe bei ihrer weiteren Drehung gegen den Kamm *I*, so zieht sie aus demselben positive Elektricität an und der Conductor *N* erhält eine negative Ladung. Nun beginnt die Maschine in der gewöhnlichen Weise zu functioniren. Nicht nur in Folge der Influenzwirkung jenes Scheibentheiles, der negative Elektricität erhielt, auf den gegenüberstehenden Kamm *I*, sondern auch in Folge der starken negativen Elektricität des geriebenen Kissens strömen bedeutende positive Elektricitätsquantitäten aus *I* auf die Vorderseite der Scheibe, und es ladet sich der mit *I* verbundene Conductor *N* sehr stark negativ elektrisch. Die Scheibe ist nun, nachdem sie den Kamm *I* passirt hat, beiderseits positiv elektrisch geladen; die positive Elektricität ihrer Vorderseite geht direct auf den Kamm *II* über, während die positive Elektricität der Rückseite influenzirend wirkt. Bei dem in der Figur dargestellten Drehungssinne wird also die obere Hälfte der Vorderseite der Scheibe positiv elektrisch, deren untere Hälfte negativ elektrisch sich erweisen.

Es hat sich gezeigt, dass eine Ableitung des bisher isolirt gehaltenen Reibzeuges die Wirksamkeit der Maschine bedeutend beeinträchtigt. Es ist diese Erscheinung

leicht erklärlich: die positive Elektricität, welche durch Reibung der Scheibe auf ihrer Hinterfläche erzeugt wurde, und die negative Elektricität ihrer Vorderseite binden sich zum Theile, und es bleibt dann nur die influenzirende Wirkung der negativen Reibungselektricität des Kissens

Fig. 34.



übrig. Wird nun auch diese durch Ableitung des Kissens entfernt, so müssen natürlicher Weise die Effecte sich vermindern.

Dass die Kundt'sche Maschine bedeutend mehr positive als negative Elektricität liefert, ist begreiflich, weil zur Hervorrufung der ersteren sowohl das Kissen als auch die Scheibe wirkt, während die letztere nur

durch die Influenzwirkung der Scheibe erzeugt wird. Die Umkehrung der Polarität wird vermieden, denn die continuirliche Reibung der Scheibe erhält die Richtung der elektrischen Strömung constant; doch sinkt die elektrische Spannung an den Elektroden beim Entfernen derselben in hohem Masse, was bei Anwendung des diametralen Conductors oder der Hilfsconductoren nicht stattfindet.

Ein grosser, nicht zu unterschätzender Vortheil der Maschine von Kundt, welche in ihrem Principe mit der früher beschriebenen Maschine von Carré grosse Aehnlichkeit besitzt und als eine Combination der Bertsch-schen und Holtz'schen Maschine zu betrachten ist, ist der, dass sie gegen die atmosphärischen Feuchtigkeitsverhältnisse bei weitem nicht so empfindlich wie die Holtz'sche Maschine ist.

Wir haben unserer Beschreibung der Holtz'schen Influenzmaschine das durch Fig. 28 dargestellte Modell der von Borchardt construirten Maschine zu Grunde gelegt. Verschiedene einfachere Constructionen dieses allgemein zur Erzeugung hochgespannter Elektricität verwendeten Apparates wurden vorgenommen, und wir erwähnen noch einige der hierher gehörigen Instrumente.

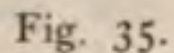
Verschiedene Constructionen der Holtz'schen Maschine.

Durch grosse Einfachheit, elegante Zusammenstellung der einzelnen Bestandtheile und vorzügliche Wirksamkeit ausgezeichnet ist eine von Stöhrer construirte Influenzmaschine, welche in Fig. 34 abgebildet ist. In derselben ruht die feste Scheibe eingefalzt in einer Ebonitplatte und trägt die Belegungen, welche einen

Winkel von 60° umfassen. Zur Vermeidung der Umkehrung der Polarität der Elektroden wird ein diametraler Conductor verwendet, der in die in der Fig. 34 angegebene Lage gebracht wird. Gewöhnlich befinden sich am Fussgestelle unter den Conductorstäben Metallstäbe, auf denen Metallhülsen auf und ab geschoben werden und so in leitende Verbindung mit den Elektroden gebracht werden können. Mit den Metallstäben lassen sich Drähte durch Klemmschrauben verbinden, welche man zu jenen Apparaten (z. B. Geissler'schen Röhren) führt, durch welche ein Strom starkgespannter Elektricität cursiren soll.

Eine andere Influenzmaschine nach Holtz'schem Principe wurde von Leyser construirt; sie ist sehr einfach construirt und gestattet, wie die eben beschriebene, ein leichtes und bequemes Auseinandernehmen der einzelnen Bestandtheile und Wiederzusammensetzen derselben. Wir beschränken uns bei ihrer Beschreibung nur auf das Wesentlichste. Man bemerkt in der beistehenden Fig. 35 die bewegliche Scheibe *R* und die feste rechteckige Scheibe *F*, welche die Belege trägt und oben und unten in Hartgummistücken fixirt ist. Die Belegungen haben die Gestalt von rechtwinkeligen Dreiecken mit zwei abgerundeten Ecken; sie sind aus Silberpapier verfertigt und dieses ist mit der Metallseite auf die von der sich drehenden Scheibe abgekehrte Seite der fixen Scheibe geklebt und auf der Papierseite lackirt; diese Belegungen stehen mittelst schmaler, in derselben Weise aufgeklebter Streifen von Silberpapier in Verbindung mit kleinen Saugkämmen *a* und *b*, die aus steifem Papiere angefertigt sind und deren Saugspitzen etwas nach der rotirenden Scheibe gekrümmt sind, die sie aber nicht berühren. An

der Säule S befinden sich Saugkämme von Messing, c und d, und diese stehen nahezu in derselben verticalen Ebene, wie die verticalen Kanten der Erreger. Die beiden


Fig. 35.



eben erwähnten Kämme sind durch einen Metalldraht, welcher die Säule S durchsetzt, mit einander in leitender Verbindung und können parallel der Axe der Maschine ein wenig verrückt werden. Die Conductoren stehen in

Verbindung mit zwei Saugkämmen *e* und *f*, welche in der Leyser'schen Maschine eigenthümlich construirt sind. Sie stellen nämlich zwei halbkreisförmige Messingplatten vor, welche an der gekrümmten Seite wulstig aufgeworfen, an der geraden, der Scheibe zugekehrten Seite jedoch sehr zugeschärft sind.

Um die Maschine in Gang zu setzen, bringt man ein geriebenes Stück Hartgummi derjenigen Stelle der rotirenden Scheibe nahe, welche dem Papiersaugkamme *a* gegenübersteht, während man die Scheibe im Sinne des Pfeiles dreht. Die Maschine von Leyser, welche im Jahre 1873 construirt wurde, ist sehr wirksam; ganz leicht kann man Funken von 16 cm Länge mittelst einer mittelgrossen Maschine erhalten.

Die Wirkungsweise einer solchen Maschine ist leicht zu erkennen und braucht nicht näher erörtert zu werden. Wir bemerken nur, dass, wenn die Drehung der Scheibe im erwähnten Sinne erfolgt, die Kämme *a*, *d*, *e* positive Elektricität entweichen lassen, während die entsprechenden Kämme *b*, *c*, *f* negative Elektricität ausstrahlen, und man kann sich leicht von diesen Elektricitätsströmungen durch Betrachten der functionirenden Scheibe im Dunkeln überzeugen. Dass die elektrischen Polaritäten sich umkehren, wenn man die geriebene Ebonitplatte an *b* anlegt, ist selbstverständlich.

Man hat Holtz'sche Influenzmaschinen in allen Grössen verfertigt. Eine der grössten Maschinen dieser Art wurde vor kurzer Zeit von J. & H. Berge in New-York construirt. Dieselbe besitzt zwei rotirende Scheiben von 45 engl. Zoll (1·143 m) Durchmesser und ist mit einem Hilfsapparate versehen, um sie sogleich gebrauchen zu

können. Die Funkenlänge der Maschine beträgt 26 englische Zoll (66 cm).

Bevor wir zur Betrachtung der Influenzmaschine mit mehreren Belegungen übergehen, wollen wir noch eine Maschine betrachten, die in mancher Beziehung theoretisches Interesse bietet; es ist dies die

Maschine von Bleekrode.

Eine Elektromaschine erster Art wurde auch von Bleekrode construirt. Die Eigenthümlichkeit derselben besteht darin, dass die Scheiben aus Ebonit angefertigt waren. Werden dieselben schadhaft, so genügt ein Abreiben mit kohlensaurer Magnesia, um sie wieder zu restituiren. Die ruhende Scheibe hatte einen Durchmesser von 58 cm, die rotirende von 55 cm, die Dicke der Scheiben betrug 1·5 mm. Ohne diametralen Conductor kam die Maschine von Bleekrode nicht in Function. Auch wenn die Maschine einmal in Wirksamkeit ist und starke Funken zwischen den Elektroden überspringen, verschwindet sofort alle Elektricität, wenn der diametrale Conductor entfernt wird. Bringt man jedoch denselben wieder in die Nähe der Scheibe, so kommt die Maschine zur vollen Wirkung.

Die in den Belegen angehäufte Elektricität hat einen eigenthümlichen Einfluss auf die Gestalt der Flammen. Wird eine solche dem positiven Belege der erregten Maschine genähert, also jenem Belege, aus dessen Spitze negative Elektricität ausströmt, dann stösst dieselbe die Flamme zurück, dagegen wird sie von dem negativen Belege angezogen und nähert sich demselben mit scharfer Spitze.

Es dürfte von Interesse sein, zu erfahren, dass Bleekrode einen diametralen Conductor aus Gasflammen construirte. Auf einem Holzstabe befestigte er zweifach gebogene Glasröhren, welche mit der Gasleitung verbunden wurden; die Ausströmungs-Oeffnungen sind durch einen dünnen Kupferdraht mit einander verbunden. Der erwähnte Stab wird in dieselbe Stellung gebracht, wie der diametrale Conductor, und das Gas angezündet. Es functionirt dann die Maschine, wie mit dem gewöhnlich angewendeten diametralen, Conductor, mit den beiden Spitzenkämmen.

Wir erwähnen diesen Versuch hauptsächlich deshalb, weil er als Vorlesungsexperiment, um bei vollem Tageslichte die Polarität der Enden des diametralen Conductors zu demonstriren, sehr instructiv ist. Die nach der Scheibe gerichtete Flamme deutet auf die negative Elektricität, die abgestossene auf die positive Elektricität der Papierbelegung. Jede Polaritätsumkehrung wird sofort aus der wechselnden Richtung der Flammenspitzen erkannt.

Das eigenthümliche Verhalten der Flammen hat Riess in folgender Weise erklärt: Bei der Verbrennung eines Stoffes wird selbstständige Elektricität erregt; die aufsteigende Kohlensäure ist positiv elektrisch, während die übrige Substanz negativ zurückbleibt.

Selbstverständlich hört die Maschine zu wirken auf, wenn der Kupferdraht, welcher zwischen den beiden Ausflussöffnungen eine Brücke bildet, entfernt wird, denn dann hat man keinen diametralen Conductor der Scheibe gegenübergestellt.

Später hat Bleekrode auch Doppel-Elektromaschinen mit Ebonitscheiben hergestellt, die — was

ihre Construction betrifft — mit den Borchardt'schen Maschinen die grösste Aehnlichkeit haben.

Influenzmaschinen mit mehreren Elementen.

Wir haben bisher angenommen, dass die fixe Scheibe zwei Belegungen mit zwei Ausschnitten oder — wie sich Holtz ausdrückt — zwei Elemente enthalte.

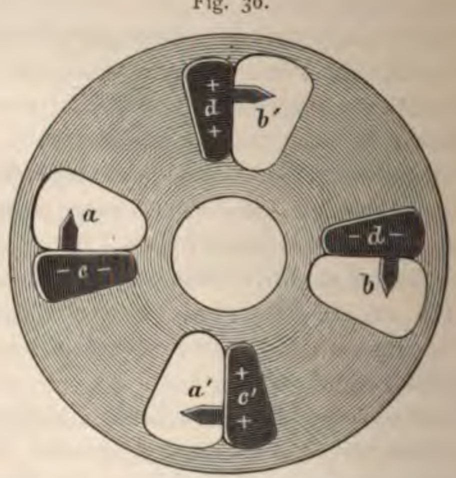
Zur Vergrösserung der Elektricitätsmengen haben Poggendorff und Holtz an der festen Scheibe vier Belege mit vier nach derselben Seite gerichteten Spitzen befestigt, welche in Winkelentfernungen von 90° sich befinden. Vor jeder dieser Belegungen und vor der rotirenden Scheibe befindet sich ein Saugkamm, der von einem Metallstabe getragen wird. Man verbindet die diametral gegenüberstehenden Stäbe unter einander und mit je einer Kugelelektrode, so dass die eine Elektrode positive, die andere negative Elektricität aufnimmt. Laden wir z. B. Fig. 36 die Belegung *c* negativ elektrisch, so wird auch *d* negativ elektrisch, während *c'* und *d'* positive Elektricität annehmen.

Man kann sehr leicht die früher ausführlich beschriebene Maschine von Borchardt in eine solche mit vier Elementen transformiren. Die in der Fig. 36 dargestellte Scheibe wird in die Maschine eingesetzt; sodann entfernt man den Messingbügel, welcher eine leitende Brücke zwischen *gg* und *ff* herstellt, und verbindet die beiden Kämme *uvv* und *rtt* mit *f* durch eine Metallklammer, während gleichzeitig *gg* mit dem Kamme *ii* in Communication gesetzt wird; es ist leicht einzusehen, dass in dem erwähnten Falle *p* zur negativen, hingegen *n* zur positiven Elektrode wird

Die von einer solchen Maschine entwickelte Elektricitätsmenge ist grösser als jene einer zweielementigen Maschine, die Schlagweite aber ist um vieles geringer.

Holtz hat an einer Scheibe, die fast 2·5 Fuss Durchmesser hatte, 20 Belegungen oder Erregungsstellen angebracht; in Folge dessen wurde die erzeugte Elektricitätsmenge die zehnfache jener einer Maschine mit nur zwei

Fig. 36.



Elementen, Holtz fand aber, dass eine solche Maschine den Stromumkehrungen in hohem Masse ausgesetzt ist. Aus diesem Grunde verfertigt man die Influenzmaschine gewöhnlich mit nur zwei Belegungen.

Betrachten wir die Maschine mit vier Belegungen genauer, so sehen wir, dass in derselben z. B. von *r t t* und *u v v* zwei Partialströme von entgegengesetzter Richtung verkehren, welche sich in einem Verbindungsstücke

aufheben würden; bringt man aber an einem Stabe des letzteren einen mit *f* verbundenen Draht an, so fliessen die erzeugten Elektricitätsmengen in denselben und liefern doppelt soviel Elektricität als ein Saugkamm. Aus diesem Grunde rechnet Poggendorff die Influenzmaschine mit vier Belegungen in die Gruppe der später zu beschreibenden von ihm angegebenen Doppelmaschinen, bei denen wir einen ähnlichen Vorgang antreffen werden.

Andere Methoden, eine Influenzmaschine zu erregen.

Bisher nahmen wir an, dass man eine Influenzmaschine dadurch erregt, dass man an die eine Belegung eine Elektricitätsquelle anlegt, welche ihr Elektricität mittheilt. Man kann aber eine Influenzmaschine auch noch auf zwei andere Arten erregen, wie Poggendorff genauer untersucht hat: entweder dadurch, dass man aus einer Elektricitätsquelle Elektricität durch die Metallkämme der Maschine auf die rotirende Scheibe strömen lässt, oder auch mittelst der ruhenden Scheibe, nachdem man dieselbe durch vorangegangenen Gebrauch der Maschine in ihrer oberen und unteren Hälfte entgegengesetzt elektrisch gemacht und die Belege ableitend berührt hat.

Von besonderem Interesse ist folgende Erregungsweise: Man legt zwei entgegengesetzt geladene Leydnerflaschen, deren äussere Belegungen in leitende Verbindung gebracht sind, mit ihren Knöpfen an die von einander entfernten Elektroden der Maschine und dreht die Maschine in gewöhnlicher Weise, also den Zähnen der Papierbelegungen entgegen, dann geht von der positiven Flasche positive Elektricität, von der negativen negative

Elektricität auf die Scheibe, und die Maschine fängt zu functioniren an. Da der eine Kamm fortwährend positive, der andere immer negative Elektricität aussendet, die Knöpfe der Elektroden fortdauernd die entgegengesetzten Elektricitäten an die Flasche abgeben müssen, so wird die letztere wieder geladen und zwar im umgekehrten Sinne wie vorhin. Es wechseln fortwährend die Zeichen der Ladungen der Flaschen und es wird in Folge dieses Umstandes auch die Maschine im entgegengesetzten Sinne erregt. Um daher aus dieser Ladungsart Vortheil zu ziehen, muss man die Elektroden zur rechten Zeit einander bis zur Berührung nahe bringen und die Flaschen entfernen.

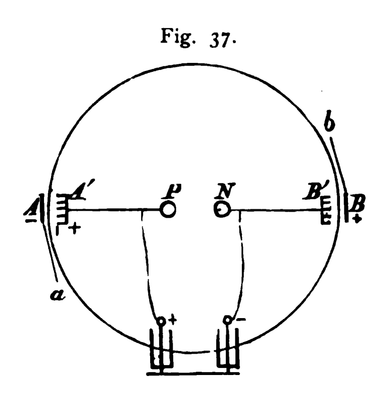
Es muss hier bemerkt werden, dass die beschriebenen Erscheinungen, von denen man sich durch den Lichtwechsel in einer Geissler'schen Röhre, die zwischen den Belegungen der Flaschen und den Kämmen eingeschaltet ist, oder durch die abwechselnde Ablenkung eines in diesen Stromkreis eingeschalteten Galvanometers überzeugen kann, dann auftreten, wenn die Maschine nicht mit einem diametralen Conductor versehen ist.

Ist hingegen die Maschine mit einem Hilfsconductor ausgerüstet, so sendet die positiv geladene Flasche bei rechtsläufiger, also gewöhnlicher Drehung der Maschine negative Elektricität gegen die rotirende Scheibe und umgekehrt, die Flaschen laden sich im ursprünglichen Sinne bis zu ihrem Maximum und es gelangt die Maschine im umgekehrten Sinne zur Thätigkeit.

Dieses eigenthümliche Verhalten geladener Flaschen gegen die noch unerregte Influenzmaschine, je nachdem

diese mit dem diametralen Conductor versehen ist oder nicht, gibt auch eine einfache Erklärung der Thatsache, dass, wenn man Flaschen an der bereits functionirenden Maschine zu laden versucht und letztere mit keinem diametralen Conductor versehen ist, der Strom der Maschine sich umkehrt, dass dies aber nicht geschieht, wenn dieser Conductor vorhanden ist. Im erstbezeichneten Falle wirkt nämlich die Flasche der Maschine entgegen, im letzteren Falle aber nicht.

Fig. 37.

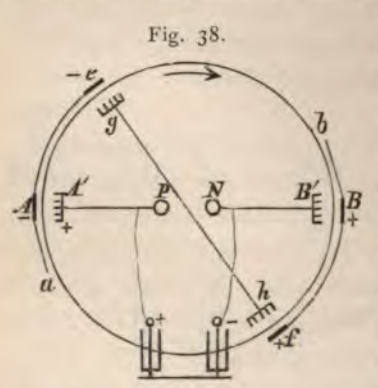


Die Erklärung der erwähnten Erscheinungen wurde im Jahre 1874 von Rosetti gegeben. Wir betrachten zunächst den Fall einer Influenzmaschine ohne diametralen Conductor Fig. 37. Die beiden von einander entfernten Elektroden sind mit den inneren Belegungen zweier entgegengesetzt geladenen Leydnerflaschen in Verbindung. Die von der linken Leydnerflasche auf den Kamm A' übergegangene Elektricität strömt auf die Vorderseite der bewegten Scheibe und wird mittelst der Scheibe dem Kamme B' gegenübergebracht; dort entladen sich die Flaschen allmählich, denn jene Flasche, deren innere Belegung nun negativ elektrisch war, sendet diese Elektricität durch den Spitzenkamm B' zur von A' übergeführten positiven, mit der sie sich neutralisirt. Wie begreiflich, ladet sich aber auch die Belegung B positiv elektrisch und es fliesst aus der Papierspitze

negative Elektricität auf die Rückseite der beweglichen Scheibe. Die positive Elektricität der Belegung zieht nun negative Elektricität aus dem Saugkamme *B'* und in Folge dieses Umstandes ladet sich jetzt die rechte Flasche auf ihrer inneren Belegung positiv; es tritt somit eine Umkehr der Polarität ein.

Nun betrachten wir näher den Fall einer Maschine mit diametralem Conductor (Fig. 38). Es geht abermals von der linken Leydnerflasche auf den Kamm *A'* und durch denselben auf die bewegliche Scheibe positive Elektricität über. Bei der Drehung der Scheibe in dem angegebenen Sinne veranlasst diese positive Elektricität ein Ausströmen von negativer Elektricität aus dem Kamme *g* und ein Entweichen von positiver Elektricität auf die Vorderseite der Scheibe aus dem Kamme *h* des diametralen Conductors. Diese letztgenannte Elektricität stösst, wenn sie dem Kamme *A'* gegenüber gekommen ist, die positive Elektricität der inneren Belegung der linken Flasche in dieselbe zurück und ladet vermöge der Influenzwirkung diese Flasche noch stärker positiv elektrisch. Das Entgegengesetzte findet in der anderen Flasche statt. Die beiden Flaschen kommen allmählich zum Maximum der Ladung.

Fig. 38.



Ladung einer Influenzmaschine durch den Strom einer anderen.

Wenn man von zwei Influenzmaschinen mit diametralem Conductor und dahinter befindlichen Papierbelegungen die eine erregt und den Strom dieser Maschine auf die noch nicht erregte, aber in Rotation befindliche zweite Maschine leitet, so kommt diese in entgegengesetzter Richtung zur Wirkung, so dass also der Strom der ersten Maschine jenem der zweiten entgegengesetzt gerichtet ist. Die Maschinen wirken also in diesem Falle, in welchem sie gleichsinnig mit einander verbunden sind, entgegen. Welche Maschine das Uebergewicht erreicht, hängt von der Kraft der Maschine ab, aber auch davon — wie Poggendorff durch mehrere Versuche nachgewiesen hat — welche von den beiden Maschinen zuerst in Bewegung gesetzt wurde. Dieser Physiker fand nämlich, dass die zuerst bewegte Maschine die andere übertrifft.

Von dem eigenthümlichen Verhalten zweier in der Weise combinirten Maschinen kann man nun eine Nutzanwendung in der Weise machen, dass man zwischen den Verbindungsdrähten je zweier Saugkämme eine Brücke einrichtet. In derselben erhält man einen Strom, welcher gleich der Summe der Ströme beider Maschinen ist.

Diese soeben beschriebenen Phänomene leiteten zur Construction der Doppelmaschinen, deren Einrichtung wir im Folgenden erörtern wollen.

Doppel-Influenzmaschinen.

Eine der ersten Doppel-Influenzmaschinen wurde von Kaiser (1869) construirt. Dieselbe bestand aus zwei rotirenden Scheiben von Glas, und zwischen letzteren befand sich

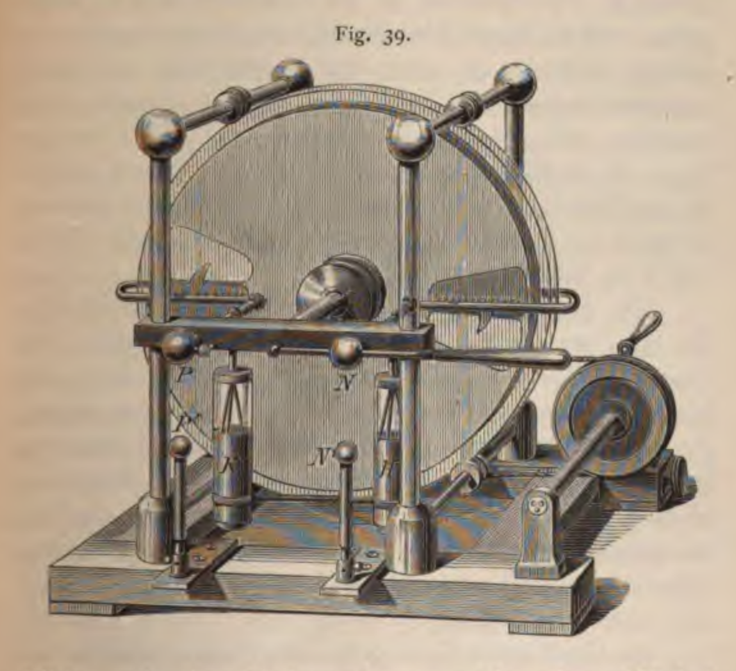
zu diesen Scheiben parallel eine feste Scheibe, die um wenige Millimeter von den ersteren abstand. Die beweglichen Scheiben rotiren in derselben Richtung. Die fixe Scheibe hat zwei Ausschnitte und an beiden Seiten sind neben diesen Papierbelegungen angebracht, welche in die Ausschnitte mit Spitzen aus Cartonpapier hervorragen. Für jede rotirende Scheibe sind zwei Saugkämme, also im Ganzen vier Spitzenkämme nothwendig. Es sind sowohl die beiden negativen, als auch die beiden positiven Kämme unter einander verbunden. Kaiser hat die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit von dieser Maschine geliefert wird, d. i. die Stromintensität mittelst eines in den Stromkreis eingeschalteten Galvanometers 2·12 mal so gross gefunden, wie die Stromstärke einer Maschine, die nur eine Scheibe besitzt.

Poggendorff machte im Jahre 1870 einen Vorschlag zur Construction einer Doppelmaschine, welche in vorzüglichster Weise von Borchardt ausgeführt wurde. Die beweglichen Scheiben befinden sich auf derselben Axe befestigt und besitzen einen Abstand von 10 cm. Nach aussen stehen vor diesen Scheiben die festen Scheiben, deren Papierbelegungen ziemlich ausgebreitet sind und sich über einen grossen Winkel erstrecken. Jede dieser fixen Scheiben besitzt zwei Elemente, und diese sind so angeordnet, dass, wenn man die Maschine von der Seite einer Scheibe betrachtet, die Papierbelegungen, welche einander entsprechen, sich decken. Den Spitzen gegenüber befinden sich Saugkämme, an Messingstäben angebracht, welche horizontal zwischen den beweglichen Scheiben sich erstrecken und auf Glasfüssen ruhen. Von den horizontalen Messing-

stäben gehen verticale aufwärts, welche die Conductorkugeln tragen.

Während in der Maschine Kaiser's diametrale Conductoren fehlen, hat Poggendorff solche, je einen vor jeder beweglichen Scheibe, angebracht; diese Kämme

Fig. 39.



bilden mit der Horizontalen ungefähr einen Winkel von 45°.

Etwas später hat Ruhmkorff der Doppelmaschine eine viel einfachere und bequemere Gestalt gegeben; seine Maschine ist aus Fig. 39 ersichtlich. In derselben sind die beiden fixen Scheiben zwischen den beweglichen

Scheiben gelegen. Die den gleichnamigen elektrischen Belegungen gegenüberstehenden Saugkämme sind ähnlich wie bei der Reibungs-Elektrisirmaschine von Ramsden, durch Klammern verbunden, welche die vier Scheiben umschliessen. Diese Arme werden von Messingstäben getragen, die ihrerseits in die Conductorkugeln übergehen, welche durch Ebonithandgriffe einander genähert werden können. Es sind diese Conductoren mit zwei Leydnerflaschen in Verbindung, deren äussere Belegungen mit einander verbunden sind. Die in der Figur 39 ersichtlichen Stäbe P' und N' dienen dazu, um die Conductoren in bequemer Weise mit äusseren Körpern, z. B. mit den Polenden einer Geissler'schen Röhre zu verbinden.

Um den Apparat functioniren zu lassen, dreht man die Scheiben in passendem Sinne, nachdem man die Conductorkugeln bis zur Berührung gebracht hat, und bringt zwischen die fixen Scheiben eine geriebene Hartgummiplatte, die man an eine Belegung anlegt. Wie wir bald aus dem Schema der Wirkungsweise der Maschine ersehen werden, laden sich dann bei fortgesetztem Drehen der Scheiben die anderen Belegungen, welche von den ersteren um 180^0 abstehen, im entgegengesetzten Sinne, also positiv elektrisch.

Die Elektricitäts-Erzeugung einer Doppelmaschine ist — wie bereits vorhin angegeben — die doppelte jener einer Maschine mit nur einer Scheibe. Dies gilt, wie mehrere Versuche lehren, jedoch nur so lange, als die Schlagweite gering ist. Die von dieser Maschine erzeugten Funken sind auch länger als jene von einer einscheibigen Maschine von denselben Dimensionen erzeugten; so gab

eine einfache Scheibenmaschine (Durchmesser der Scheibe 50 cm) Funken von 18 cm Länge, während eine Doppelmaschine, in welcher die Scheiben dieselbe Dimension hatten, Funken von 22 cm liefert. Mit Scheiben von 1 m im Durchmesser kann man Funken bis 30 cm Länge erhalten.

Ein besonderer Vortheil der Maschinen mit zwei beweglichen Scheiben ist der, dass sie, einmal erregt, die Elektricität sehr lange erhalten; ein derartiger Apparat bleibt in einer nicht allzu feuchten Atmosphäre mehrere Stunden elektrisirt. Es mag diese letztere Erscheinung von der eigenthümlichen Anordnung der Papierbelegungen herkommen, welche gleichnamig elektrisirt einander gegenüberstehen.

Bei einer Doppelmaschine kann man auch die Conductorkugeln von einander weit entfernen, ohne dass die Maschine zu wirken aufhört. Was die Umkehrungen einer Doppelmaschine betrifft, so hat die Erfahrung Folgendes gelehrt:

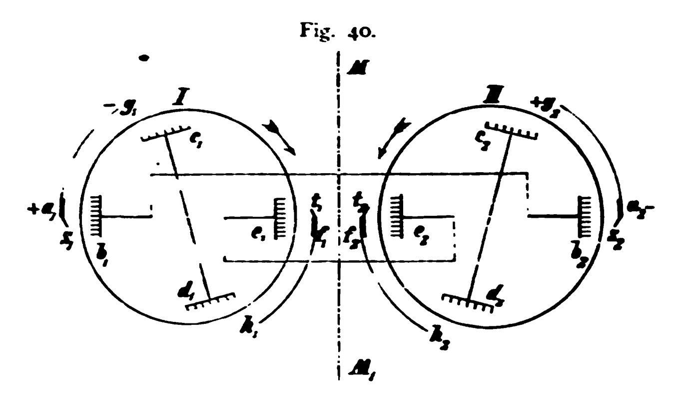
Bei getrennten Elektroden existiren, wenn dieselben mit den inneren Belegungen zweier Leydnerflaschen verbunden sind, deren äussere Belegungen in Communication stehen, solche Umkehrungen nicht, wenn beide Scheiben mit diametralen Conductoren versehen sind.

Entfernt man aber von der einen Scheibe den diametralen Conductor, so kehrt die Maschine ihre Pole um, dann wirken beide Maschinen in entgegengesetzter Weise und es wechselt der Elektricitätsstrom in Folge dessen auch in der zweiten Maschine seine Richtung, so dass also nach sehr kurzer Zeit die Maschinen, wieder einander unterstützend, functioniren.

Erklärung der Wirkungsweise einer Doppelmaschine.

In der folgenden schematischen Figur (Fig. 40) sind die in Wirklichkeit hintereinander stehenden Scheiben neben einander dargestellt; in Folge dessen mussten die entsprechenden Theile der beiden die Doppelmaschine zusammensetzenden einfachen Maschinen symmetrisch zur Mittellinie $M M_1$ gezeichnet werden; aus eben demselben Grunde erscheinen die in Wirklichkeit in einem und

Fig. 40.



demselben Sinne stattfindenden Drehungen in der Zeichnung verkehrt.

Nehmen wir an, es werde die Papierbelegung a_1 der Hälfte I der Maschine positiv elektrisch gemacht. Zufolge der influenzirenden Wirkung strömt aus dem Kamme b_1 negative Elektricität auf die Vorderseite der Hälfte I der Maschine; die abgestossene positive Elektricität fliesst in den mit b_1 verbundenen Saugkamm b_2 aus welchem sie durch die Spitzen auf die Vorderseite der Scheibe II überströmt. Eben diese Elektricität bewirkt eine elektrische

Vertheilung im Papierbelege a_2, indem die negative Elektricität aus der Papierspitze angezogen wird und auf die Rückseite der beweglichen Scheibe II strömt, während die abgestossene positive Elektricität in das Ende der Papierbelegung gelangt, also an eine Stelle, welche dem Saugkamme c_2 des diametralen Conductors c_2 d_2 sehr nahe liegt. Während die erste Scheibe sich von b_1 über c_1 nach e_1 dreht, dreht sich die zweite Scheibe von b_2 über c_2 nach e_2. Betrachten wir zunächst die letztere Scheibe, so wird die von b_2 übergeströmte positive Elektricität, dem Kamme c_2 gegenüberstehend, aus demselben negative Elektricität anziehen, während die positive Elektricität nach d_2 abgestossen wird. Diese influenzirende Wirkung wird noch durch die Wirkung des positiv elektrischen Papierbeleges unterstützt. Entgegen diesen beiden Influenzwirkungen wirkt jene der von der Spitze s_2 negativ geladenen Hinterfläche der Scheibe II. Sind die beiden ersten Wirkungen gegen die letztgenannte sehr bedeutend, so kann es geschehen, dass die von c_2 ausgeströmte negative Elektricität nicht nur die positive Elektricität der Vorderseite der Scheibe II neutralisirt, sondern sich dort ansetzt. Beim fortgesetzten Drehen gelangen die elektrisirten Stellen des Glases dem Kamme e_2 und der Belegung h_2 gegenüber, dann gibt die negative geladene Hinterfläche der Scheibe ihre Elektricität an die Belegung h_2 ab. Diese wird also negativ elektrisch. Ebenso ladet sich die Belegung h_1 mit negativer Elektricität, da die von b_1 kommende negative Elektricität der Vorderseite der Scheibe I sowohl aus dem Kamme e_1, als auch aus der Papierspitze t_1 positive Elektricität anzieht, während die negative Elektricität nach h_1 abgestossen wird.

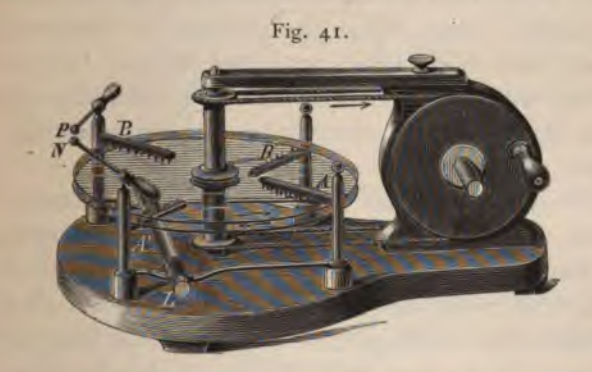
Es ist unschwer zu ersehen, dass in den Verbindungsdrähten der Kämme e_1 und e_2, ebenso von b_1 und b_2 keine Ströme fliessen; dies lässt sich auch aus dem Mangel jeglicher Lichterscheinung in Geissler'schen Röhren, welche in diese Ströme eingeschaltet sind, erkennen. Verbindet man aber zwei Stellen dieser Drähte durch eine Metallbrücke, so werden sich in derselben die von b_1 und b_2, ebenso jene von e_1 und e_2 ausgehenden Strömungen addiren. Es lässt sich dieser Vorgang vergleichen mit einem ganz analogen im Ringe von Pacinotti. Auch hier wirken an jenen Stellen des Ringes, welche um 90° von den inducirenden Magnetpolen abstehen, zwei gleiche Ströme einander entgegen und es wird ein solcher Ring stromlos sein. Nichtsdestoweniger kann man aber aus dem Stromwechsel an den erwähnten Stellen Vortheil ziehen, wenn man an die letzteren — wie es in den dynamoelektrischen Maschinen geschieht — metallene Schleifbürsten anlegt, welche die Ströme ableiten, und so kann in einem mit den Bürsten verbundenen Drahte ein ganz erheblicher Strom cursiren.

Die Holtz'schen oder Influenzmaschinen zweiter Art.

Wir wenden uns nun zur Beschreibung jener Gruppe von Elektromaschinen, welche von A. W. Holtz im Jahre 1867 zum erstenmale beschrieben wurden und bei denen man die fixen Scheiben und die Papierbelegungen ganz weggelassen hat. Man hat diesen Maschinen den Namen »Elektromaschinen zweiter Art« gegeben und dieselben gewöhnlich in der im Folgenden angegebenen Weise construirt:

Auf einer Axe können sich zwei gleich grosse, einander parallele Glasscheiben in entgegengesetzter Richtung drehen, was durch den aus der Fig. 41 ersiohtlichen Schnurlauf erreicht wird. Oberhalb der aufwärts gekehrten Scheibe einander diametral gegenüber befinden sich zwei Saugkämme A und B, ebenso unterhalb der unteren Scheibe zwei andere Saugkämme A^1 und B^1, die ebenfalls auf demselben Durchmesser liegen, gegen die erstgenannten Kämme aber um 90^0 Winkelentfernung abstehen.

Fig. 41.



Wie man aus der Figur ersieht, sind die Kämme A und A^1, ebenso die Kämme B und B^1 durch Metallstäbchen in leitende Verbindung gesetzt. Diese beiden Leitersysteme gehen in Kugeln P und N aus, welche die Elektroden der Maschine sind. Die Isolirung der Kammträger und der Conductoren wird durch Ebonitstative vollzogen.

Um eine Elektromaschine zweiter Art zu erregen, bringt man die Conductorkugeln zur Berührung und dreht die Scheiben derart, dass z. B. die obere den Kamm A in jener Richtung passirt, in welcher sie sich

von dem Kamme A^1, der mit jenem verbunden ist, verlässt, während die untere vor dem Kamme B in jener Richtung vorbei geht, in welcher sie sich vom Kamme B^1 entfernt. Gleichzeitig nähert man einem der Kämme eine geriebene Hartgummiplatte. Bald vernimmt man ein eigenthümliches Brausen der Maschine, welches ihr Functioniren anzeigt; man kann nun die Ebonitplatte entfernen, und bei fortgesetzter Drehung der Scheibe entwickelt die Maschine Elektricitäten, die bei geöffnetem Auslader in Funken zwischen den Elektrodenkugeln sich ausgleichen. Gewöhnlich bringt man die letzteren in leitende Verbindung mit einem Condensations-Apparate, bei dessen Einschaltung der früher continuirliche Funkenstrom durch starke in grösseren Zeitintervallen auf einander folgende Funken ersetzt wird.

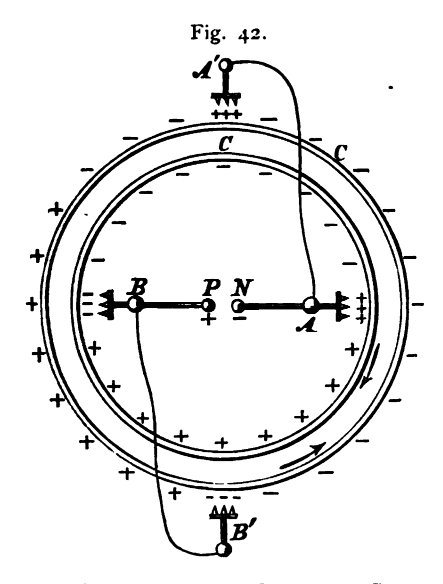
Dieser Condensator ist gewöhnlich in folgender einfachen, auch in der Figur dargestellten Form construirt: An den Enden einer Glasröhre L_1 befinden sich ringförmige Stanniolstreifen sowohl auf der Aussen- als auch Innenseite der Röhre aufgeklebt, wobei die inneren Belegungen durch einen die Röhre durchziehenden Stanniolstreifen mit einander verbunden sind. Man erkennt leicht, dass man so in der That zwei Leydnerflaschen cascadenartig mit einander combinirt hat, eine Methode, die auch im Früheren stets angewendet wurde.

Theorie der Elektromaschinen zweiter Art.

Wir stellen uns (Fig. 42) wieder — wie wir es schon mehrfach gethan haben — die Glasscheiben durch Cylindermantel C und C^1 ersetzt vor, welche conaxial angeordnet sind. Die Drehungsrichtung ist entsprechend dem

oben Gesagten durch die in der Figur angezeigten Pfeile dargestellt. Nehmen wir an, es sei dem Kamme *A* eine geriebene Ebonitplatte gegenüber gebracht; dann wird die in *A* entwickelte Influenz-Elektricität erster Art, welche positiv ist, aus diesem Kamme ausfliessen, während die abgestossene negative Elektricität, d. i. die Influenz-Elek-

Fig. 42.



tricität zweiter Art, aus dem Kamme *B*, der noch mit *A* verbunden ist, auf die andere Seite des Cylinders, respective die andere Hälfte der Scheibe tritt.

Diese beiden Elektricitätsschichten wirken influenzirend auf die Kämme A^1 und B^1, die dem zweiten Cylinder, respective der zweiten Scheibe gegenüberstehen. Die von *A* auf den ersten Cylinder übergeströmte positive Elektricität kommt zunächst B^1 gegenüber, zieht

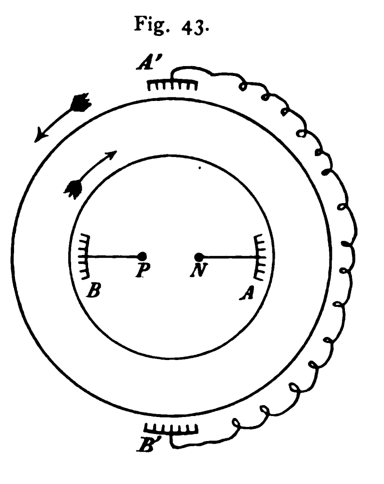
aus diesem Kamme negative Elektricität an, welche auf die Hinterseite des zweiten Cylinders strömt, während die abgestossene positive Elektricität durch den mit B^1 verbundenen Kamm B auf die Vorderseite des ersten Cylinders tritt. Diese Wirkung wird wesentlich durch jene unterstützt, welche die von A^1 auf die Hinterseite des zweiten Cylinders übergeströmte positive Elektricität auf den Kamm B, dem sie zunächst bei der Drehung gegenüberliegt, ausübt. Wir können sagen, die Elektricitätsschichten des äusseren Cylinders wirken auf die Kämme A und B so zurück, dass ein Strömen der Elektricität aus denselben in derselben Weise wie ganz zu Anfang des Versuches erfolgt; ebenso wirken die Elektricitätsschichten des inneren Cylinders auf die Saugkämme A^1 und B^1 immer in derselben Weise und unterstützen die erstgenannte Wirkung. Es wird somit aus den Kämmen A und A^1 positive Elektricität, aus den Kämmen B und B^1 negative Elektricität ausfliessen und die nun getrennten Kugeln P und N werden sich bald auf einem hohen positiven, respective negativen Potentiale befinden. Bevor noch ein Maximum der Ladung eingetreten sein wird, was dann stattfindet, wenn sich zwischen der Elektricitäts-Erzeugung und der Elektricitäts-Zerstreuung ein Gleichgewichtszustand hergestellt haben wird, wird ein Anwachsen der Elektricitätsmengen in geometrischer Progression erfolgen.

Dreht man die Cylinder oder die Scheiben im entgegengesetzten Sinne, so hört die Maschine bald zu functioniren auf. Es strömt nämlich dann der Kamm B^1 positive Elektricität aus, der Kamm A^1 aber negative Elektricität, welche sich auf der Rückseite des zweiten

Cylinders ausbreiten. In dem Verbindungsdrahte B^1 B fliesst in der Richtung von B^1 nach B negative Elektricität, in den Drahte A^1 A in der Richtung von A^1 nach A positive Elektricität. Durch diese Elektricitäts-Strömungen werden aber jene neutralisirt, welche von den Saugkämmen A und B gegen die Conductorkugeln N und P stattfinden.

Von Interesse ist noch der Fall, in welchem man — wie in der Fig. 43 angegeben ist — die Saugkämme A^1 und B^1 mit einander durch einen Metalldraht verbindet. Bringen wir wieder dem Kamme A gegenüber eine geriebene Ebonitplatte, so wird aus demselben positive Elektricität ausströmen und aus dem Kamme B — wenn die Conductorkugeln in Berührung sich befinden — negative Elektricität. Bei der Drehung der Cylinder gelangen die elektrisirten Stellen des inneren Cylinders den Kämmen A^1 und B^1 gegenüber und es wird der Kamm A^1 positive und der Kamm B^1 negative Elektricität auf die Hinterseite des zweiten Cylinder überströmen. In dem Verbindungsstücke A^1 B^1 fliessen gleiche und entgegengesetzte Elektricitätsmengen, welche sich neutralisiren; eine in diesen Stromkreis eingeschaltete Geissler-sche Röhre bleibt dunkel. Die auf der Hinterseite des

Fig. 43.



zweiten Cylinders angesammelten Elektricitäten bewirken, wenn sie den Kämmen A und B gegenüberkommen, ein in derselben Weise, wie früher, erfolgendes Ausströmen der Elektricitäten aus diesen Kämmen. Die Maschine functionirt auch in diesem Falle und man kann beim Entfernen der Elektroden zwischen denselben einen Funkenstrom erhalten.

Es ist — wie man aus der schematischen Darstellung der Wirkungsweise der Maschine erkennt — die Elektricitäts-Strömung zwischen den beiden Elektroden N und P der Maschine unabhängig von der Drehungsrichtung der beiden Scheiben. In dem Stabe oder Drahte jedoch, welcher die beiden dem äusseren Cylinder gegenüberstehenden Kämme leitend verbindet, ändert sich die Stromrichtung, wenn die Drehungsrichtung sich ändert. So wird, wenn die Scheiben sich in einem Sinne drehen, welcher jenem in der Figur angezeigten entgegengesetzt ist, die aus A übergeströmte positive Elektricität zuerst dem Kamme A^1 gegenübergeführt und verursacht ein Ausströmen von negativer Elektricität aus demselben, während aus dem Kamme B^1 positive Elektricität auf die Hinterseite des äusseren Cylinders fliessen wird. Es werden also die Lichterscheinungen, welche im Dunkeln an jenen Kämmen wahrzunehmen sind, sich umkehren; selbstverständlich wird der Verbindungsdraht $A^1 B^1$ auch jetzt noch stromlos sein.

Während in dem erstgenannten Falle, in welchem die Spitzenkämme A und A' einerseits, die Kämme B und B' andererseits leitend verbunden sind, die Elektricität, die auf beiden Cylindern sich absetzt, benützt wird, findet in jenem Falle, in welchem A' und B' mit einander

in Communication sind, nur eine Benützung der vor dem inneren Cylinder entwickelten Elektricität statt; es bietet somit diese Verbindungsweise keine Vortheile dar.

Wenn wir die elektrischen Verhältnisse der beiden einander gegenüberstehenden Cylinderflächen, respective Scheiben, betrachten, so finden wir in dem rechts oben und links unten befindlichen Quadranten gleichnamige Elektricitäten einander gegenübergestellt, während in den beiden anderen Quadranten ungleichnamige Elektricitäten einander gegenüberstehen. Diese Umstände können Veranlassung zu partiellen elektrischen Entladungen geben, welche man zuweilen an den Rändern der Glasscheiben beobachtet, wenn die letzteren einander sehr nahe sind. Derartige Phänomene hat bereits Holtz beobachtet.

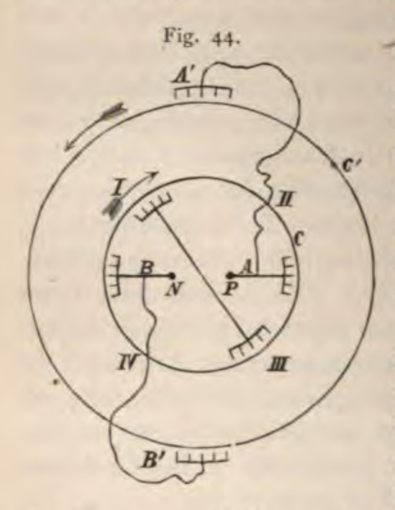
Es ist einleuchtend, dass die Elektromaschine zweiter Art bei demselben Durchmesser und unter sonst gleichen Verhältnissen doppelt so viel Elektricität erzeugt, als eine Elektromaschine erster Art, weil die Anzahl der Kämme in der erstgenannten Maschine doppelt so gross als in der zweiten ist. Die Menge der in einer bestimmten Zeit erzeugten Elektricität ist der Drehungsgeschwindigkeit der Scheiben proportional.

Anwendung von diametralen Conductoren bei den Elektromaschinen zweiter Art.

Zuweilen fügt man zu dieser Maschine einen fünften mit der Erde verbundenen Kamm oder auch einen leitenden Stab, der in zwei Saugkämme endigt und welcher einen analogen Effect hervorbringen soll, wie der diametrale Conductor der gewöhnlichen Influenzmaschine erster Art.

Der diametrale Conductor wird vor der Scheibe, oder in unserer schematischen Figur (Fig. 44) vor dem Cylinder C so angebracht, dass seine Kämme von den schon vorhandenen Kämmen um 45^0 abstehen; er hat die gezeichnete Lage. Erregt man die Maschine, etwa in der in der Figur angegebenen Weise, während die Conductorkugeln mit einander in Berührung sind, und entfernt dann diese von einander, so kann zufolge der Anhäufung der positiven Elektricität in P und der negativen in N keine Elektricität auf den inneren Cylinder (resp. die vordere Scheibe) ausströmen, und es muss nothwendigerweise die Influenzwirkung auf die hinteren Kämme geringer werden. Wenn man aber, bevor man die Conductorkugeln N und P trennt, den diametralen

Fig. 44.



Conductor so anbringt, wie es die Zeichnung lehrt, so kann er nach Trennung der Kugeln von dem stärker elektrisirten zweiten Cylinder bedeutender influenzirt werden, als von dem ersten Cylinder, der sich allerdings näher dem diametralen Conductor befindet, aber schwächer elektrisirt ist; die Folge dieser Umstände wird sein, dass aus dem diametralen Conductor positive Elektricität in I, negative Elektricität in III auf die Vorderseite des ersten Cylinders überströmt, wodurch der letztere stärker ge-

laden wird und eine stärkere influenzirende Wirkung auf die Kämme *A'* und *B'* ausübt. In dem diametralen Conductor entsteht also eine positive Elektricitätsströmung in der Richtung *III—I* bei Trennung der Elektroden. Sind die Elektroden aber in Berührung, dann hat wegen der stärkeren influenzirenden Wirkung des inneren Cylinders der positive Elektricitätsstrom im diametralen Conductor die Richtung *I—III*. Also nur dann, wenn die Conductorkugeln *P* und *N* getrennt sind, wirkt der diametrale Conductor die Wirkung befördernd.

Nehmen wir an, der diametrale Conductor hätte die Lage, welche von der gezeichneten um 90° Winkelentfernung differirt, also die Lage *II IV*. In diesem Falle wirken beide Cylinder in demselben Sinne auf ihn influenzirend: es strömt aus *II* negative, aus *IV* positive Elektricität auf die Vorderseite des inneren Cylinders; dies wirkt aber auf den Austritt der Elektricität aus den Kämmen *A* und *B* wegen der Abstossung gleichnamiger Elektricitäten hinderlich; die Wirkung der Maschine nimmt dann rasch ab und hört bald ganz auf.

Hätte man dem diametralen Conductor eine Mittellage gegeben, welche dadurch charakterisirt ist, dass seine Saugkämme den Kämmen *A'* und *B'* gegenüberstehen, so strömen die Kämme des diametralen Conductors und die ihnen gegenüberstehenden Kämme, welche der Rückseite des zweiten Cylinders gegenüberliegen, die gleichen Elektricitäten aus und neutralisiren sich in ihren Wirkungen.

Dies zusammenfassend, können wir somit sagen: b e i g e t r e n n t e n C o n d u c t o r k u g e l n w i r k t d e r d i a m e t r a l e C o n d u c t o r n u r d a n n v o r t h e i l h a f t , w e n n

er die Stellung *I III* besitzt: sowohl in der Stellung *II IV* als auch in verticaler Lage ist er der beabsichtigten Wirkung entschieden hinderlich und die Maschine hört dann bald zu functioniren auf.

Man hat auch an der Elektromaschine zweiter Art Ladungsumkehrungen beobachtet (und zwar nach den an den Saugkämmen stattfindenden Lichterscheinungen), wenn in Folge zu grosser Entfernungen der Elektroden ein Ausgleich der Elektricitäten der letzteren unmöglich geworden ist; diesbezügliche Studien wurden von Pieruzzi im Jahre 1876 angestellt. Diese Umkehrungen finden langsam statt, wenn man mit den Elektroden Leydnerflaschen verbindet. Eine in dieser Weise ausgerüstete Maschine, bei welcher noch zwischen der einen Elektrode und der damit in Verbindung stehenden Belegung des Condensations-Apparates eine Geissler'sche Röhre eingeschaltet ist, wird, wenn sie gerade in dem Augenblicke angehalten wird, in welchem die Lichterscheinung in der Röhre verschwindet, bei weiterer Drehung in entgegengesetztem Sinne functioniren.

Die Elektromaschinen zweiter Art bieten der Construction ungleich grössere Schwierigkeiten als jene der ersten Art dar und zwar wegen der zwei Scheiben, die auf einer und derselben Axe im entgegengesetzten Sinne gedreht werden müssen. Man findet deshalb diese Maschine seltener und in relativ kleineren Dimensionen construirt. Es sind aber einige Modificationen auch an den Elektromaschinen zweiter Art vorgenommen worden: so hat unter anderen Musaeus eine solche Maschine angegeben, bei welcher vier Kämme an der vorderen, zwei Kämme

er hinteren Scheibe sich befinden, die mit jenen der
lerscheibe durch Metallbügel verbunden sind. Es be-
t sich noch vor der vorderen Scheibe ein diame-
r Conductor. Derartige Maschinen bieten nur rein
retisches Interesse und deshalb wollen wir bei deren
hreibung nicht länger verweilen.

Wir wollen am Schlusse unserer Beschreibung der
z'schen Influenzmaschinen erster und zweiter Art
der Maschine von Schwedoff Erwähnung thun,
he als Doppelmaschine Verwendung fand; es ist die
truction dieser Maschine in mancherlei Beziehungen
jener der oben angeführten differirend und es mag
r Umstand die Berücksichtigung dieser älteren
hine rechtfertigen.

Maschine von Schwedoff.

Für die Wirkung einer Influenzmaschine wesent-
wichtig ist die Ladung der Papierbelegungen,
he von der rotirenden Scheibe zu den Carton-
en kommt. Die rotirende Scheibe wird nur auf
Hinterseite elektrisirt, während die Cartonspitzen
der Vorderfläche der Scheibe angebracht sind.
rch tritt eine Schwächung der Wirkung der ro-
den Scheibe ein, und dies umsomehr, je dicker die
ende Scheibe ist. Da sowohl die Cartonspitzen als
die Papierbelegungen schlecht leitend sind, so kann
eschehen, dass bei feuchtem Wetter, wenn die Ober-
e der festen Scheibe mit condensirtem Dampfe be-
t ist, die Elektricität nicht in den Belegungen bleibt,
ern auf der festen Scheibe sich verbreitet. Es
deshalb Schwedoff an einer von ihm (1871) con-

struirten Maschine die Cartonspitzen und Papierstreifen durch Metallkämme ersetzt, von denen zwei der rotirenden und zwei andere der festen Scheibe mit ihren Spitzen zugekehrt sind. Die Maschine wird dann für die erregende Ebonitplatte empfindlicher, ferner besitzt sie auch den Vorzug, dass man die Spannung an ihren Elektroden bis zu einer bestimmten Grenze beliebig steigern kann, in Folge dessen diese Maschine sich zur Ladung der Belegungen einer anderen Maschine vorzüglich eignet. Daher vereinigt Schwedoff auf einer Welle zwei Scheibenpaare, deren erstes zur Erzeugung grosser Potential-Differenzen dient, während das andere grosse Elektricitätsmengen hervorzurufen im Stande ist.

Die Glasscheiben in der Schwedoff'schen Maschine hatten einen Durchmesser von 18 Zoll; die rotirende Scheibe war kreisrund und es befanden sich hinter dieser oberhalb und unterhalb der Welle die festen Sectoren, welche so wie es in der Fig. 45 gezeichnet ist gestaltet waren; zwischen diesen Sectoren blieb ein freier Raum von ungefähr 2 Zoll Breite. Diesem Raume gegenüber befinden sich, mit den Spitzen der rotirenden Scheibe zugekehrt, zwei Saugkämme 1 und 6 (wir wählten wieder die bequeme Bertin'sche Darstellung Fig. 46), von welchen hinter die festen Sectoren zwei Drähte gehen, die an ihren Enden zwei verticale Kämme 2 und 5 tragen, während die früher erwähnten horizontal sind. Den Kämmen 2 und 5 gegenüber vor der rotirenden Scheibe stehen zwei verticale Kämme 3 und 4, die unter einander metallisch verbunden sind. Um die Maschine zu erregen, bringt man eine geriebene Ebonitplatte in den freien Raum zwischen den festen Sectoren hinter der

rotirenden Scheibe, es zieht dann die negative Elektricität der Ebonitplatte positive Elektricität aus dem Kamme 1, während die negative Elektricität nach 2 wandert. Beim Rotiren der Scheibe im angegebenen Sinne werden in den Spitzenkämmen 4 und 6 negative Elektricitäten, in den Kämmen 3 und 5 positive Elektricitäten erregt. Der zwischen den Kämmen 4 und 1 befindliche Theil der

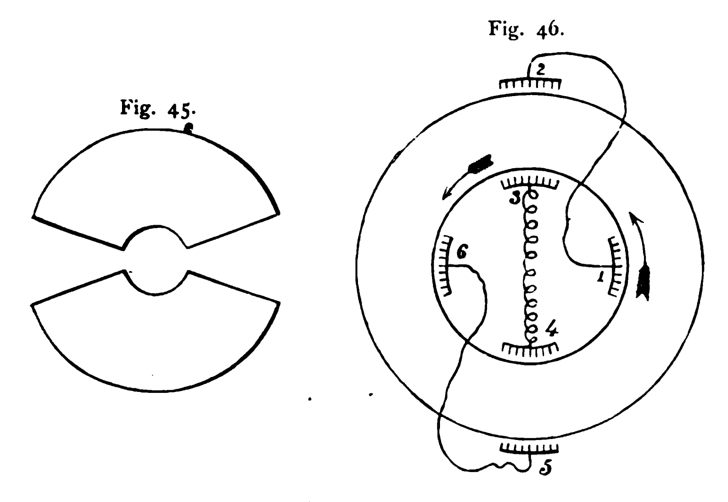


Fig. 45. Fig. 46.

rotirenden Scheibe ist bei constanter Wirkung der Maschine negativ, der zwischen 3 und 6 befindliche positiv geladen. Will man die erzeugte Elektricität benützen, so bringt man mit den Kämmen 1 und 6 den Auslader in Verbindung.

Es werden somit in dieser Maschine statt Cartonspitzen und der mit ihnen verbundenen Belegungen vier Metallkämme benützt, deren zwei sich vor der elektrisirten Fläche der rotirenden Scheibe befinden.

Mit einer derart eingerichteten Maschine kann man grosse Spannungs-Differenzen erzielen.

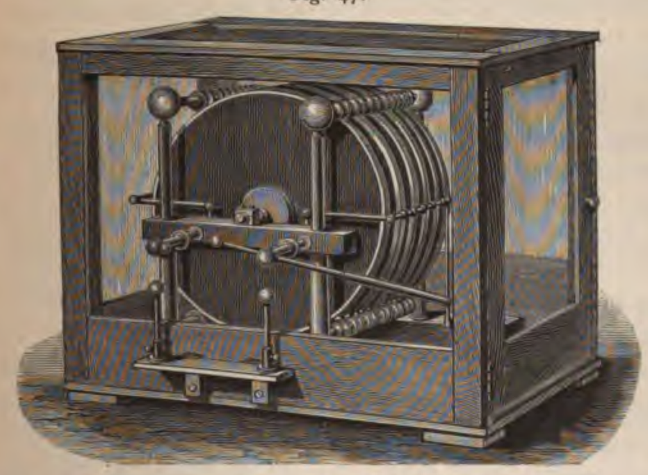
Zur Erzeugung sehr grosser Elektricitätsmengen verband Schwedoff diese erste Maschine mit einer zweiten ganz anders construirten. Bei letzterer befindet sich hinter einer festen ebenfalls aus zwei Sectoren bestehenden Scheibe eine runde drehbare Scheibe; auf der Oberfläche der festen Scheibe sind zwölf Papierbelegungen in radialer Richtung angebracht, die miteinander derart metallisch verbunden sind, dass die erste mit der dritten, fünften u. s. w., die zweite mit der vierten, sechsten u. s. w. Belegung communicirt. Vor der rotirenden Scheibe befindet sich ein Stern, der aus einem Ebonitringe besteht, welcher zwölf Metallkämme trägt, deren Spitzen vor der rotirenden Scheibe den Papierbelegungen gegenüberstehen. Diese Kämme sind miteinander ebenfalls metallisch verbunden. Bringt man die erste Belegung dieser Maschine mit dem Kamme 1 der Vorderseite in metallische Verbindung, so werden alle ungeraden Papierbelegungen negativ elektrisch; ebenso werden alle geraden Belegungen positiv elektrisch, wenn man sie mit dem Kamme 6 verbindet. Die Spitzenkämme des Sternes stehen diesen Belegungen gegenüber und es zerlegt sich in ersteren die neutrale Elektricität. Verbindet man nun einen der ungeraden Kämme mit einem der geraden, so erhält man beim Drehen der Maschine einen constanten Strom, der die Fähigkeit besitzt leicht Wasser zu zerlegen.

Die Schwedoff'sche Maschine, so sinnreich construirt sie ist, wurde weiter nicht angewendet, sie hat deshalb hauptsächlich nur theoretisches Interesse.

Combination mehrerer Holtz'schen Influenzmaschinen.

So wie man galvanische Elemente nebeneinander schaltet, d. h. die gleichnamigen Pole mit einander verbindet, wenn man die Quantität der Elektricität vermehren will, so hat man auch zuweilen mehrere Holtz'sche Influenzmaschinen so mit einander vereinigt,

Fig. 47.



dass die gleichnamig elektrisirten Spitzenkämme mit einander verbunden sind. In dem Stromkreise einer solchen Maschine fliessen dann bedeutende Elektricitätsmengen, welche man zu verschiedenen Versuchen benöthigt.

Eine solche ausserordentlich kräftige Holtz'sche Maschine, oder vielmehr eine Combination von solchen, wurde von Ladd construirt; sie hat (Fig. 47) 24 Ebonitplatten, von denen 12 fix, die anderen 12 drehbar eingerichtet sind; jede von diesen hat zwei Fuss im Durchmesser.

Die Maschine befindet sich in einem Glasgehäuse und es wird die Luft im Innern desselben durch concentrirte Schwefelsäure getrocknet. Die Drehkurbel und die Ausladearme sind ausserhalb des Gehäuses, so dass die Maschine in Function gesetzt werden kann, ohne das Gehäuse zu öffnen. Sie kann mittelst der Hand oder mittelst einer kleinen Dampfmaschine bewegt werden und gibt stets bedeutende Effecte.

Ueber einige Versuche mit der Holtz'schen Influenzmaschine.

Bevor wir zur Beschreibung einiger anderer Influenzmaschinen übergehen, wollen wir noch einiger interessanter Bewegungserscheinungen, welche man an der Holtz'schen Influenzmaschine wahrnehmen kann, gedenken. Es wurde früher erwähnt, dass insbesondere dann, wenn die Pole einer Influenzmaschine mit den Belegungen einer grossplattigen Batterie in Verbindung stehen, bei geöffnetem Auslader die Maschine sich sehr leicht entladen kann oder ihre Polarität umkehrt. Dreht man in diesem Falle die Maschine und lässt plötzlich den Riemen fallen, so kommt die Scheibe allmählich in Ruhe und bewegt sich dann über die Ruhelage in entgegengesetzter Richtung beschleunigt hinaus. Es wird nach einiger Zeit die Maschine ganz entladen sein.

Analoge Bewegungsphänomene kann man mit zwei Influenzmaschinen beobachten. Die eine von ihnen hat von einander entfernte Auslader und befindet sich im unelektrischen Zustande, die zweite Maschine functionirt und die Pole der letzteren stehen in leitender Verbindung mit den Saugkämmen der ersten Maschine. Bei einer derartigen Combination bewegt sich die früher ruhende

unelektrische Maschine in einer Richtung, welche der gewöhnlichen Drehungsrichtung dieser Maschine entgegengesetzt ist. Man kann aus diesem Versuche erkennen, dass mechanische Arbeit auf einem Umwege wieder in solche verwandelt wird. Die Elektricität der erregenden Maschine wurde durch mechanische Arbeit erzeugt und dient wieder dazu, um Arbeit zu erzeugen. Es kann somit auch mittelst der Combination zweier Influenzmaschinen eine Kraft von einem Orte auf einen anderen übertragen werden, ganz ähnlich wie es bei der Zusammenstellung zweier Dynamomaschinen der Fall ist.

Beobachtet man im Dunkeln die Lichterscheinungen, welche an den Spitzenkämmen zweier so verbundenen Maschinen auftreten, so zeigt sich, dass die beiden Maschinen mit ihren entgegengesetzt elektrischen Polen verbunden sind, dass also die Elektricitäts-Strömung den geschlossenen Stromkreis continuirlich passirt.

Würde man die entgegengesetzt bezeichneten Pole zweier in Function befindlichen Influenzmaschinen mit einander verbinden, so entspricht das dem Falle der Hintereinanderschaltung zweier oder mehrerer Elemente; es wird der Elektricitätsdebit nicht geändert, denn der Strom statischer Elektricität geht successive durch jede der Maschinen, die Potential-Differenz aber zwischen dem positiven Pole der ersten und dem negativen Pole der zweiten Maschine wird grösser als in dem Falle der Anwendung einer einzigen Maschine. Die Funken werden in diesem Falle länger; so konnte Professor Mascart, als er zwei Doppelmaschinen in der angegebenen Weise mit einander combinirte, Funken von 32 cm erhalten, während jede der beiden Maschinen für sich nur einen

Funken von 20 cm lieferte. Der Vortheil, den man aus einer derartigen Zusammenstellung ziehen kann, ist jedenfalls viel kleiner, als man nach der Theorie erwarten könnte, da die Isolirung sich meist zu unvollkommen erweist und mannigfaltige nicht beabsichtigte Elektricitätsübergänge eintreten.

Würde man zwei Holtz'sche Influenzmaschinen mit ihren gleichbezeichneten Polen leitend verbinden, so entspricht das dem Falle der Quantitätskuppelung von Elementen. Die elektromotorische Kraft erleidet keine Aenderung, der Elektricitätsdebit wird aber vergrössert.

Man braucht, um die Kraftübertragung mittelst der Influenzmaschine zu zeigen, nicht eine zweite derartige Maschine. Es genügt zu diesem Zwecke eine um eine Axe drehbare Scheibe von Ebonit oder gefirnisstem (auch ungefirnisstes Glas leistet gute Dienste) Glase anzuwenden und derselben an den Enden eines Durchmessers zwei Spitzenkämme gegenüberzustellen, durch welche man entgegengesetzte Elektricitäten von den Polen einer Influenzmaschine auf die Scheibe strömen lässt. Ein geringer Anstoss der letzteren reicht hin, um eine ziemlich schnelle in derselben Richtung erfolgende Rotation der Scheibe zu erzielen. Alle derartigen Bewegungen haben ihren Grund in der Abstossung der einzelnen Stellen der Scheibe durch die gleichnamige Elektricität des gegenüberstehenden Kammes und die Anziehung dieser Stellen durch die ungleichnamige aus dem anderen Kamme austretende Elektricität. Dass eine zu gleichen Theilen erfolgende Ausgleichung der Elektricitäten auf den beiden Scheibenhälften eintritt, ist begreiflich. — Es sind noch andere derartige Rotations-

apparate construirt worden, die den Namen elektrische Tourbillons führen.

Die Erscheinungen der Rotation wurden von Holtz beobachtet und besonders von Poggendorff im Jahre 1870 zum Gegenstande eingehender Studien gemacht. Die diesbezüglichen Experimente wurden mannigfach variirt und bieten gegen die jetzt erwähnten principiell nichts Neues.

Neuere Maschinen von Professor Töpler.

Betrachten wir die früher beschriebenen Metallinductoren von Professor Töpler im Vergleiche mit den Holtz-schen Maschinen, so erkennen wir augenblicklich einen wesentlichen Unterschied in der Wirkungsweise dieser Apparate: In den Töpler'schen Metallinductoren wird durch die influenzirende Wirkung der Elektricität einer feststehenden und immerwährend geladenen Platte auf einen gleichnamig influenzirten Stanniolstreifen die Spannung der in den Elektroden angehäuften Elektricität gesteigert; in den Holtz'schen Maschinen aber wird die an einer Stelle auf der Scheibe erregte Elektricität auf die an einer anderen Stelle befindliche erregende Belegung übertragen, und es wird auf diese Weise die Elektricität der Erregungsstelle und dann wieder die durch dieselbe inducirte Elektricität gesteigert. Auch in dieser Beziehung finden wir eine gewisse Analogie zwischen den Influenzmaschinen und den dynamoelektrischen Maschinen, in welch letzteren das berühmte Dynamoprincip von Siemens zur Anwendung kommt, nach welchem man z. B. als inducirenden Körper nur ein hufeisenförmig geformtes Stück unmagnetischen weichen Eisens zu nehmen

braucht und um dieses den Strom aus dem Inductor herumführt, wodurch es zu einem kräftigen Magnet gemacht wird und dann seinerseits wieder den aus dem Inductor heraustretenden Strom bedeutend verstärkt, wodurch es abermals stärker magnetisch wird, einen stärkeren Strom erzeugt u. s. w. Die geringste Menge Magnetismus, welche sich im weichen Eisenkerne vorfindet, kann auf diese Weise Veranlassung zu einem schwachen Strome im Inductor werden, der in der angegebenen Weise bald bedeutend vervielfacht wird.

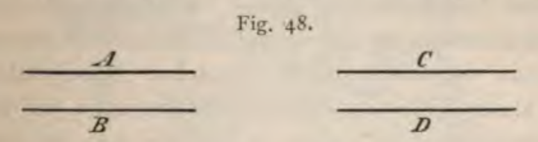
Aehnliche Verhältnisse treffen wir in den Influenzmaschinen an, und in beiden Fällen ist es die aufgewendete Arbeit, welche zur Erzeugung von beträchtlichen Elektricitätsmengen dient. Wir werden übrigens an späterer Stelle diesen Verhältnissen einige Aufmerksamkeit widmen.

Töpler hat im Laufe der letzten Jahre Influenzmaschinen construirt, bei welchen mehrfache Erregungsstellen in Anwendung gebracht werden und durch welche die Hervorrufung verhältnissmässig grosser Elektricitätsquantitäten möglich ist. Auch andere Modificationen, die der Beachtung werth sind und schon mehrfach zur Construction von Elektrisirmaschinen das Princip abgaben, sind von ihm erdacht worden.

Die Grundsätze, auf welche die nun zu beschreibenden Maschinen basirt sind, kann man etwa in folgender Weise darstellen: Denken wir uns zwei Condensatoren, von denen (Fig. 48) der eine aus den Metallplatten A und B, der andere aus den Metallplatten C und D besteht und welche beide auf derselben isolirenden Stütze sich befinden. Wir bringen B und D in leitende Verbindung

it dem Erdboden und laden A und C mit gleichen
ier entgegengesetzten Elektricitäten, z. B. A positiv,
negativ elektrisch. Es nimmt dann die Platte B nega-
re Elektricität an, während die Platte D sich positiv
ektrisch ladet. Nun hebt man die Erdverbindungen auf
id lässt etwa durch eine Drehung B und D ihren Platz
rtauschen. Es befinden sich dann auf der linken Seite
vei positiv elektrische Platten, auf der rechten Seite
vei negativ elektrische Scheiben gegenüber. Die zur
errückung der Platten nöthige Arbeit ist in eine höhere
pannung transformirt worden. Legt man nun wieder
e Erdverbindungen an, so wird die Spannung ver-

Fig. 48.



chtet und die aufgewendete Arbeit erscheint unter der
orm von Entladungsfunken. Der Apparat ist wieder
den ursprünglichen Zustand gekommen und man kann
en erwähnten Vorgang so lange wiederholen, als die
atten A und C überhaupt noch Elektricität besitzen.

Man kann aber auch in anderer Weise die ur-
rünglich ertheilten Ladungen multipliciren. Denken wir
is abermals die vorhin angegebenen Metallplatten A
id C mit gleichen aber entgegengesetzten Elektricitäten
laden, B und D leitend mit dem Erdboden verbunden.
eben wir nun die Erdverbindungen auf und trennen die
gative Elektricität enthaltende Platte von A, während
noch ferner D gegenübersteht. Wenn B von A ent-
rnt wird, so wird die negative Elektricität auf der ersten

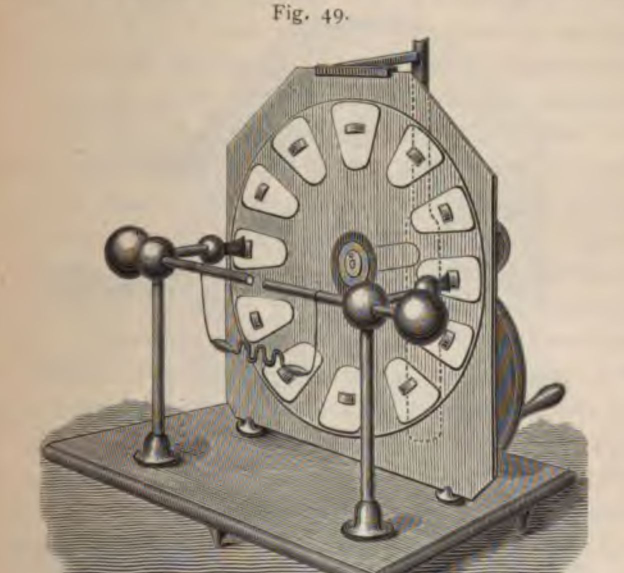
Platte frei und hat eine grössere Spannung als die negative Elektricität der Platte *C*, welche durch die positive der Platte *D* zum Theil gebunden ist. Verbindet man daher einen Augenblick *B* leitend mit *C*, so wird die negative Elektricität von *B* gegen *C* überströmen, bis die beiden Leiter auf demselben Potentiale sich befinden, und es wird somit die negative Ladung von *C* bedeutender. Ebenso kann man die positive Ladung von *A* verstärken; man braucht nur *B* wieder an seinen ursprünglichen Platz zu stellen und wieder mit der Erde leitend verbinden, sodann *D* von *C* trennen und letztere Platte *D* in Berührung mit *A* versetzen. Bei fortgesetzter Wiederholung dieser Operationen werden die Elektricitätsmengen auf *A* und *C* bedeutend anwachsen, und man könnte vom theoretischen Standpunkte aus diese Multiplication der Elektricitätsmengen bis ins Unendliche fortsetzen, wenn nicht die unausweichlichen Elektricitätsverluste nur zu bald eine Grenze setzen würden.

Man erkennt leicht, dass die Vorgänge im ersten und ebenso im zweiten eben geschilderten Falle der Ladungsvervielfältigung sich bequem vollziehen lassen werden, wenn man die Condensatoren so anbringt, dass sie sich auf einer isolirenden, sich drehenden Stütze befinden. Es lassen sich auch Anordnungen der Maschinentheile ersinnen, bei welchen beide Operationen nacheinander vollzogen werden, und in der That wurden derartige Apparate von Töpler construirt.

Eine Maschine, bei welcher nur die zuerst erörterte Methode der Elektricitätssteigerung vorgenommen wird, ist die folgende: Eine feste polygonale Glasplatte (Fig. 49)

trägt auf ihrer Rückseite zwei Stanniol- oder Papierbelegungen, welche als Inductoren wirken und das sind, was in den obigen theoretischen Auseinandersetzungen *A* und *C* waren. Auf einer beweglichen Glasscheibe, welche sich vor dieser Platte befindet, sind einige Stanniol-

Fig. 49.



sectoren aufgeklebt, von denen jeder einen kleinen metallischen Vorsprung hat, der sich im Sinne der Rotation nach beiden Seiten abdacht. Man kann diese Sectoren Uebertrager nennen, und es repräsentiren deren zwei diametral gegenüberstehende, welche sich den Inductoren oder Vertheilern gegenüber befinden, die in unseren theoretischen Betrachtungen mit *B* und *D* bezeichneten Metall-

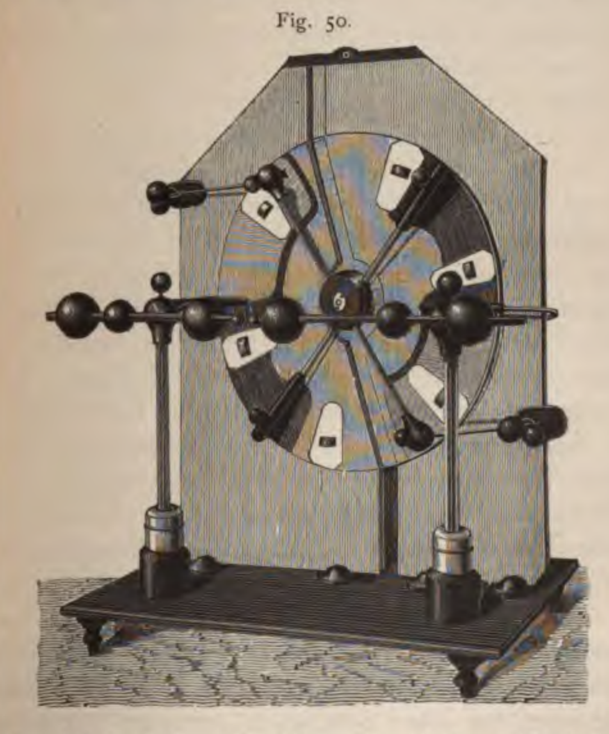
platten. Die in gewöhnlicher Weise eingerichteten Elektrodenkugeln tragen kleine Bürstchen oder Besen aus silberübersponnenen Fäden oder auch Schleiffedern, welche, sobald die Scheibe in Rotation gebracht wird, die Erhöhungen der Uebertrager berühren. Ist nun, wie es früher angegeben war, der Inductor *A* positiv, *C* negativ elektrisch geladen, so wird der vor *A* stehende Uebertrager negativ elektrisch, während die Besen die abgestossene positive Elektricität zur entsprechenden Elektrode führen; das Entgegengesetzte findet für die andere Elektrode statt. Bei der Drehung der Scheibe kommt nun der negative Uebertrager vor die zweite Elektrode und gibt seine Elektricität durch den Besen an dieselbe ab; dieser Uebergang wird noch wesentlich durch die Repulsion befördert, welche die negative Elektricität des Inductors *B* auf die gleichnamige Elektricität ausübt. Nach jeder halben Umdrehung der Scheibe ersetzen sich zwei diametral gegenüberstehende Sectoren, und man hat durch diese einfache Maschine genau den ersten der früher geschilderten Vorgänge realisirt. Zwischen den Conductoren zeigen sich lebhafte elektrische Funken, oder, wenn man eine Geissler'sche Röhre zwischen dieselben einschaltet, ein continuirlicher Elektricitätsfluss.

Es genügt, dass die beiden Inductoren eine nur geringe Potential-Differenz besitzen, um durch mechanische Arbeit die Maschine zu ihrer vollen Wirkung zu bringen; eine derartige Potential-Differenz besteht aber fast immer und man braucht die Maschine nicht eigens zu erregen; sie ist ein s e l b s t e r r e g e n d e r A p p a r a t.

Die soeben beschriebene Maschine ist principiell der H o l t z'schen I n f l u e n z m a s c h i n e sehr ähnlich; während

er in der Töpler'schen Maschine die Inductoren der
sten Scheibe auf die metallischen Sectoren wirken,
den die Belegungen in der Holtz'schen Maschine die
Oberfläche der beweglichen Scheibe selbst, ferner werden

Fig. 50.



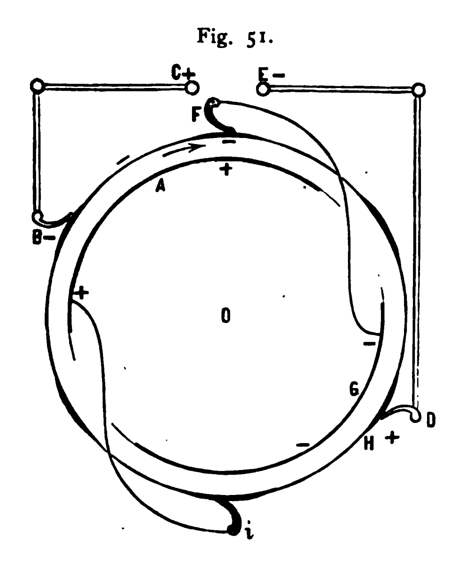
der Töpler'schen Maschine die geladenen Stellen der
ebertrager mit Besen in Verbindung gesetzt, welche
ne directe Elektricitätsableitung veranlassen, während
der Holtz'schen Maschine die Entladung durch die
augkämme erfolgt.

Das oben auseinandergesetzte zweite Princip der Ladungssteigerung im Vereine mit der gewöhnlichen Anordnung der Holtz'schen Maschine hat Töpler in einer zweiten, durch Fig. 50 dargestellten Elektrisirmaschine, angewendet, welche er auf der Naturforscherversammlung zu Kassel (1878) zeigte. In dieser Maschine ist die fixe, ebenfalls polygonale Scheibe aus Glas, welche die beiden inducirenden Belegungen trägt, in zwei gleiche Theile zerschnitten, was den Zweck hat, eine bessere Isolirung der beiden Belegungen von einander herzustellen und den Uebergang der entgegengesetzten Elektricitäten zu verhindern. Die drehbare Scheibe trägt die Uebertrager, welche genau in derselben Weise, wie bei der früheren Maschine eingerichtet sind. Die Elektroden befinden sich am Ende von Metallstäben, welche horizontale Spitzenkämme tragen. Eine der Spitzen jedes Kammes ist durch einen kleinen Besen aus Metalldraht oder durch eine Schleiffeder ersetzt, welche die metallischen Hervorragungen der Sectoren berühren kann. Nach Töpler's Untersuchungen wird durch eine derartige Combination von Sauger und Bürsten eine Vergrösserung der Ladung erzielt. Vor der rotirenden Glasscheibe sind an einem schiefgestellten diametralen Glasstabe zwei Holzkugeln befestigt, die ebenfalls Besen oder Federn tragen, und letztere sind mit den hinter ihnen befindlichen Belegungen der fixen Scheibe in leitender Verbindung und können an den erhöhten Stellen der Uebertrager schleifen. Dreht man die in der Figur dargestellte bewegliche Scheibe dem Sinne des Uhrzeigers entgegen, so wird eine sehr schwache Ladung, welche den Belegungen zu Anfang des Versuches mitgetheilt wurde, vermehrt

und die Maschine fährt fort zu functioniren zufolge der Wirkung der Kämme.

Um das Spiel der Maschine zu erklären, diene uns die schematische Figur 51. Die Conductoren *C* und *E* gehen in die Besen *B* und *H* aus, welche an den Uebertragern schleifen; mit den beiden Belegungen *A*, *G* der

Fig. 51.



festen Scheibe sind die Träger der Bürsten *F* und *i* in Verbindung, welch letztere ebenfalls die Uebertrager berühren. Nehmen wir nun an, *A* sei positiv, *G* negativ elektrisch geladen; die positive Elektricität von *A* zieht die negative des Leitersystems *BC* nach *B* und stösst die positive Elektricität gegen *C*; genau in derselben Weise macht die negative Elektricität von *G* den Uebertrager *H* positiv elektrisch und stösst die negative Elek-

tricität in die Elektrode *E*. Beim Contacte der Elektrodenkugeln tritt eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten ein. Bei der Rotation der Scheibe in dem durch den Pfeil angedeuteten Sinne gelangt der negativ elektrisch gewordene Uebertrager (bei *B*) zur Bürste *F* und es wird, da die Spannung der Elektricität oder besser gesagt, das Potential auf der Belegung *G* in Folge der vertheilenden Wirkung von *H* geringer als in *F* ist, ein Theil der negativen Elektricitätsmenge in der Richtung *FG* zur negativen Belegung *G* übergehen, somit deren Ladung verstärkt werden. Bei weiterer Drehung der Scheibe gelangt die nur schwach negativ geladene Uebertragungsstelle *F* zur Bürste *H* und die negative Elektricität fliesst zur Elektrode *E* über, deren Ladung — wie schon oben angegeben wurde — durch die Influenzwirkung von *G* verstärkt wird.

Was wir bezüglich des Uebertragers *B* gesagt haben, gilt in ganz analoger Weise von dem Uebertrager *H*, wenn er zu den Schleifbesen *i* und *B* gelangt. Es werden, wie man leicht ersieht, die Elektricitätsmengen auf *A* und *G* immer grösser und grösser und in Folge dessen auch jene der Elektroden *C* und *E*. Da in der Regel die beiden Belegungen geringe Potential-Differenzen ohne weiteres Zuthun enthalten, so ersieht man, dass auch diese Maschine sich selbst erregen kann.

Wir haben in unseren jetzigen Betrachtungen nur die Rolle der Schleifbürsten, nicht aber jene der Spitzenkämme betrachtet. Die in *B* befindlichen Spitzen senden in Folge der von *A* ausgehenden Influenz auf die rotirende Scheibe negative Elektricität, während die positive Elektricität in die Kugel *C* abgestossen wird.

Die nun negativ elektrisch gewordenen Theile der Scheibe kommen nun nach einer halben Umdrehung gegen den Saugkamm *H*, ziehen aus demselben positive Elektricität, während die negative nach *E* übergeht. Man erkennt nun, wie diese Töpler'sche Maschine das Princip der Holtz'schen Influenzmaschine und das zweite der oben angegebenen Principe in sich vereint.

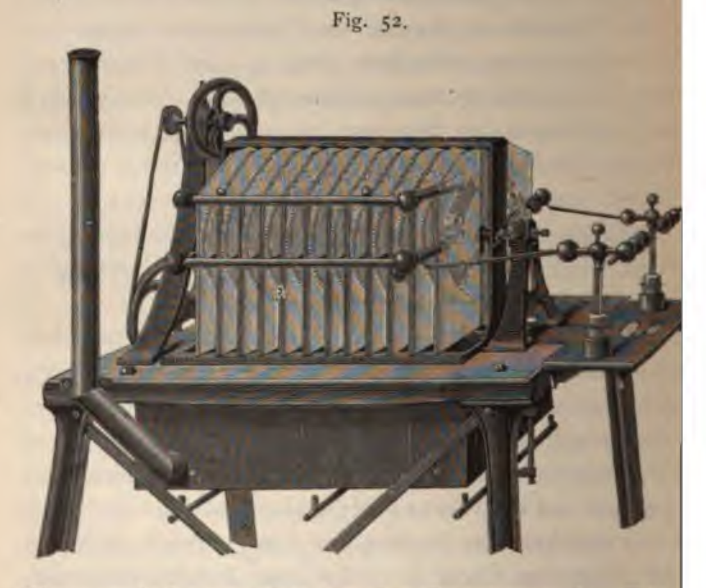
Die Glasstützen, welche die Conductoren dieser zuletzt beschriebenen Maschine tragen, sind Glasröhren, welche in Porzellangefässe eingesetzt sind; letztere sind aussen und innen mit Stanniol belegt, so dass sie Condensatoren bilden. Will man sich dieser letzteren bedienen, so stösst man in die Röhren Metalldrähte, welche durch die Conductorkugeln gehen und oben in Metallkugeln endigen, ein und stellt auf diese Weise eine Verbindung der Elektroden und Condensatoren her.

Zur Vergrösserung der Elektricitätsmengen hat Töpler nach den erwähnten Principien Maschinen construirt, welche eine beträchtliche Anzahl Platten enthielten. So hat er auf der elektrischen Ausstellung in Paris zwei Maschinen mit 20 und 60 sich drehenden Scheiben ausgestellt; auf der Wiener Elektricitäts-Ausstellung hat das mechanische Institut des königl. Polytechnicums in Dresden von Oscar Leuner eine Influenz-Elektrisirmaschine mit 20 rotirenden und eine zweite mit 30 rotirenden Scheiben nach dem Töpler'schen Systeme, beide mit Handbetrieb und mit Heizapparat versehen, exponirt.

Wir wollen diese grossen Töpler'schen Maschinen nun beschreiben: In der umstehenden Fig. 52 bemerken wir links eine Kurbel, mittelst welcher eine horizontale Axe gedreht werden kann. Auf derselben sind 20 Glas-

scheiben befestigt, die in gleichen Entfernungen v
einander stehen. Zwischen den beiden ersten Scheib
befindet sich eine Doppelplatte, welche die Belegung
trägt; zwischen der zweiten und dritten Platte fehlt ei
derartige Platte, zwischen der dritten und vierten ist
wieder vorhanden und so fort, so dass also jede fes

Fig. 52.



Platte zwischen zwei rotirenden Scheiben steht. Die
wähnten Doppelplatten sind in der Regel so constru
dass auf jeder Seite der Drehungsaxe je zwei aufeinand
liegende Glasplatten stehen, zwischen welche die Papi
belegungen geklebt sind. Den fixen Scheiben entla
auf jeder Seite in der mittleren Höhe befindet sich
langer Metallstab, welcher Doppelkämme trägt, die

den zwischen je zwei rotirenden Scheiben befindlichen freien Raum ragen. Es werden diese Metallstäbe in leitende Verbindung mit den Elektroden der Maschine gebracht. Auf der Oberseite befindet sich in gleicher Weise ein zweiter Stab, welcher mit allen Belegungen verbunden ist, die auf dieser Seite vorhanden sind. Man hat so eine Reihe von einfachen Maschinen nach Quantität aneinandergekuppelt. Die erste und die letzte von diesen Maschinen sind ganz so eingerichtet, wie die in Fig. 50 dargestellte; sie hat bewegliche Sectoren (Uebertrager) und Schleifbürsten. Eine solche Maschine, wie die eben beschriebene, hat die Wirkung einer Holtz'schen Maschine mit 20 Scheiben.

Der ganze Apparat wird gewöhnlich in einen Glaskasten gebracht, der nur Oeffnungen zum Durchlasse der Elektroden besitzt; zur Aufnahme des entwickelten Ozons stellt man in den Glaskasten eine Schale mit Leinöl. Andererseits ist die Maschine auf einen Trockenofen gestellt, der durch Gasflammen geheizt werden kann; letztere brennen in der unter der Maschine vorhandenen Blechkammer, die mit einem Schornstein versehen ist.

Eine derartige Maschine, bei welcher die Scheiben einen Durchmesser von 26 cm haben, leistet schon sehr viel; sie liefert allerdings keinen grösseren Funken als eine einfache Maschine dieser Art, wie sie Fig. 50 zeigt, da die Kuppelung der einfachen Maschinen nach Quantität vollzogen wurde und in Folge dessen kein höheres Potential entsteht, die erzeugte Elektricitätsmenge aber ist sehr beträchtlich; der Funke, den eine solche Maschine liefert, kann eine Länge von $^1/_3$—$^1/_2$ des Durchmessers der Scheibe haben; die Elektricitätsmenge aber, welche

von der Maschine erzeugt wird, ist so gross, dass z. B. bei Anwendung einer Leydnerflaschen-Batterie von 18 Flaschen man nach je 0·6 Secunden sehr mächtige Entladungen erhält. Eine derartige Maschine soll*) bei 22 Umdrehungen in der Secunde (hierzu verwendet man gewöhnlich einen kleinen Wassermotor), wozu eine Arbeitsleistung von 4 Kilogrammmetern gehört, einen Strom von 0·0081 absoluten Einheiten liefern. Es wird ungefähr die Hälfte des Arbeitsverbrauches von 4 Kilogrammmetern in elektrische Processe verwandelt, von dieser Hälfte aber entfällt wieder nur ein Bruchtheil auf den Strom im Schliessungskreise. Es fällt also diese von Töpler dargestellte Vergleichung des Arbeitsumsatzes durch die dynamoelektrischen Maschinen mit dem durch seine Influenzmaschinen erreichten noch sehr zu Ungunsten der letzteren aus. Drei miteinander verbundene Töpler'sche Maschinen von je 20 Scheiben konnten von einem Manne noch gedreht werden und waren hinreichend zur 40-maligen Entladung (per Secunde) einer grossen Leydnerflasche durch eine Funkenstrecke von 1 cm; die Helligkeit des continuirlichen Lichtfadens war der von 1·4 Normalkerzen gleich. Genaue Messungen der Stromstärke haben gelehrt, dass die letztere fast in demselben Verhältnisse wie die Rotations-Geschwindigkeit zunimmt, aber abnimmt, wenn die Schlagweite wächst. Die bei den Entladungen der Maschine auftretende Energie ist eine relativ sehr bedeutende.

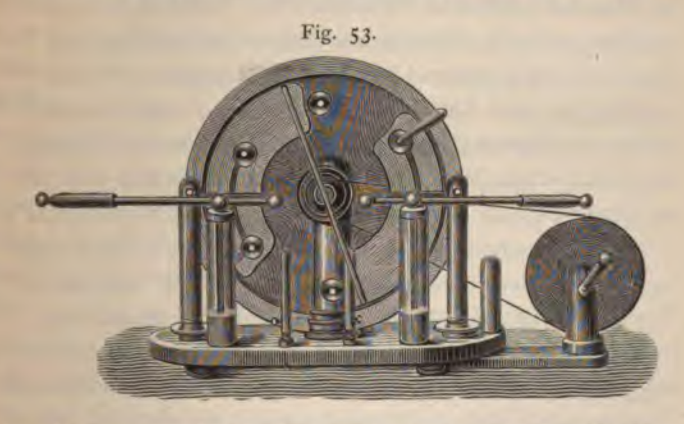
Man ersieht aus dem Vorstehenden, dass durch diese sinnreiche Combination der Töpler'schen Apparate mit

---

*) Wiedemann, »Die Lehre von der Elektricität«, 2. Bd., p. 227.

der Holtz'schen Influenzmaschine mächtige Elektricitätserzeuger entstehen, welche vor der Holtz'schen Maschine den grossen Vortheil haben, dass sie in trockener Luft functioniren können, ohne erregt zu werden. Ein Nachtheil dieser Maschinen ist die grosse Rotations-Geschwindigkeit, in welche die Scheiben versetzt werden und durch welche leicht eine Beschädigung einzelner Organe der Maschine eintreten kann. In Folge der von den Spitzen

Fig. 53.



der Kämme auf die Scheiben übergehenden Funken werden die letzteren mit der Zeit abgenützt und müssen von neuem mit einer Schellackschicht überzogen werden.

Vereinigte Holtz'sche und Töpler'sche Influenzmaschine von J. R. Voss.

Der Berliner Mechaniker J. R. Voss hat im Jahre 1880 eine Maschine construirt, in welcher ebenfalls das Princip der Holtz'schen und der Töpler'schen Maschine vereinigt ist. Diese Maschine ist der in der

Fig. 50 dargestellten Töpler'schen Maschine ganz ähnlich construirt und ist deshalb zuweilen auch als Copie der Töpler'schen Maschine betrachtet worden. Es ist dieselbe aber gegen die letztgenannte Maschine einigermassen modificirt, so dass ihre Einrichtung in aller Kürze dargestellt werden soll. Die Maschine hat die Form der Holtz'schen Influenzmaschine, es können aber die Scheiben, wenn wegen ungünstiger Luftverhältnisse die Maschine nicht in Function tritt, durch andere ersetzt werden, wodurch sie zu einer selbsterregenden Töpler'schen Maschine wird, deren Construction folgende ist: Die fixe Scheibe ist zum Unterschiede von der Töpler'schen Maschine ein Ganzes und besitzt die beiden Papierbelegungen der Holtz'schen Maschine; ausserdem befinden sich aber auf dieser Scheibe vier Stanniolbelegungen, wovon je zwei und zwei miteinander und mit zwei am Rande der Scheibe befestigten Messingstücken in Verbindung stehen. Die Messingstücke dienen als Träger für Gummibügel, in welchen Metallbürsten befestigt sind. Die drehbare Scheibe hat sechs Stanniolbelegungen, auf denen ebensoviele Messingvorsprünge vorhanden sind, an welchen die Metallbürsten reiben. Der doppelte Einsauger hat ebenfalls zwei Metallbürsten, welche gleichfalls an den Messingvorsprüngen reiben.

Die in der Luft befindliche freie Elektricität sammelt sich nun auf den Stanniolbelegungen. In Folge der Umdrehung der rotirenden Scheibe und dann auch zufolge der Berührung der Metallbürsten an den Messingvorsprüngen wird die auf ihr vorhandene Elektricität vermehrt und durch die früher erwähnten Bügel zur Papierbelegung der festen Scheibe geleitet, so dass die Maschine geladen wird.

Die vorhergehende Figur zeigt eine selbsterregende Influenzmaschine, wie sie von Voss von 26 cm Scheibendurchmesser bis zu 90 cm construirt wird. Es wurden auch Maschinen mit vier feststehenden und vier rotirenden Scheiben construirt, deren rotirende Scheiben den Durchmesser von 90 cm besitzen.

Wasser-Influenz-Elektrisirmaschine.

Wir beschreiben im Nachstehenden noch eine eigenthümlich eingerichtete Maschine zur Multiplication von elektrischen Ladungen, welche Sir W. Thomson im Jahre 1867 construirte, weil dieselbe sehr instructiv ist, wenn es sich darum handelt, das Princip der Verstärkung der Elektricität durch wechselseitige Influenz zweier Körper zu zeigen, die sich gegenseitig laden.

Um das Princip dieser Maschine einzusehen, denken wir uns, im Innern eines Metallcylinders (Fig. 54) *A*, der etwa negativ elektrisch ist, befinde sich eine Metallröhre *B*, die mit dem Erdboden in leitender Verbindung ist, und aus welcher aus einem Reservoir Flüssigkeitstropfen entweichen: durch influenzirende Wirkung wird die Röhre *B* positiv elektrisch, die negative Elektricität aber zur Erde abgeleitet. Die positive Elektricität wird durch die Flüssigkeitstropfen fortgeführt und wird von dem sogenannten Empfänger *C*, der isolirt aufgestellt ist, aufgenommen. Derselbe stellt wieder eine Metallröhre dar, die einen Trichter in sich schliesst, dessen Spitze sich ungefähr in der Mitte des Cylinders befindet. Da die Mündung des Trichters fast ganz von dem Metalle des Empfängers umgeben ist, sind die aus der

ersteren tretenden Wassertropfen fast frei von Elektricität. Man kann daher den Cylinder A als Inductor betrachten.

Die Elektricitätsmenge der Röhre C wird immer grösser, bis sich der Gleichgewichtszustand herstellt, der dadurch charakterisirt ist, dass die Elektricitäts-Vermehrung gleich der Elektricitäts-Zerstreuung ist. Es kan übrigens dahin kommen, dass die positi elektrischen Tropfen von dem gleichnami stark elektrisirten Empfänger derart abge stossen werden, dass sie nicht mehr in de letzteren gelangen, auch können zwischen de entgegengesetzt elektrischen Metallröhren und C, wenn deren Potential-Differenz sehr gros geworden ist, Elektricitäts-Uebergänge in Form von Funken eintreten.

Fig. 54.



Um der Schwierigkeit enthoben zu sein das Potential der inducirenden Röhre durch eine äussere Elektricitätsquelle constant zu erhalten, hat man zwei Apparate von der eben erörterten Construction combinirt, welche gegenseitig ihre Ladungen vergrössern. Fig. 55 zeigt einen derartigen Apparat. Zwei in Kugeln endigende Metallstäbe sind an Bleicylinder festgemacht, welche in Glascylinder eingelegt oder eingekittet sind. Die Isolirung der letzteren muss eine sehr gute sein. Die Glascylinder sind, um das Benetztwerden mit Flüssigkeitstropfen zu verhindern, mit Schirmen versehen, welche die in der Fig. 55 angedeutete Gestalt besitzen. Jeder Metallstab trägt an zwei horizontalen in verschiedener Höhe befindlichen Armen einen Inductor und einen Empfänger der

oben angegebenen Art. Es steht immer der Inductor des einen Apparates über dem Receptor des anderen. An einem Stative befindet sich eine T-förmig gestaltete Röhre, welche durch einen Kautschukschlauch mit der Wasserleitung in Verbindung gesetzt wird und Flüssig-

Fig. 55.



keit durch die Inductoren in die Empfänger sendet. Es muss dafür gesorgt werden, dass der Wasserstrahl sich ungefähr in der Mitte der Inductoren in Tropfen auflöst.

Wenn man den Apparat laden will, so theilt man einer der beiden Kugeln, z. B. der links stehenden, etwas positive Elektricität mit; es wird der mit dieser Kugel verbundene Inductor ebenfalls positiv elektrisch, und wenn

man den Wasserzufluss nun in der angegebenen Weise regelt, werden die aus diesem Inductor tretenden Tropfen negative Elektricität in den darunter befindlichen Receptor des zweiten Apparates überführen. Dieser, sowie der mit ihm verbundene Inductor, welcher in der Figur links gezeichnet ist, werden also negativ elektrisch, der unter dem letztgenannten Inductor befindliche Receptor durch die Tropfenwirkung positiv elektrisch; auf diese Weise wird die ursprünglich dem ersten Apparate mitgetheilte positive Ladung verstärkt und wirkt wieder auf den zweiten Apparat zurück u. s. f. Es wächst die Ladung der Receptoren in geometrischer Progression mit der Zeit und es geht diese Zunahme so lange fort, bis die fallenden Tropfen in Folge der elektrischen Repulsion so von ihrer Bahn abgelenkt werden, dass sie nicht mehr in den Receptor fallen oder sogar den Inductor benetzen. Man kann dem Umstande, dass die Tropfen nicht mehr in den Receptor fallen, in der Weise vorbeugen, dass man den letzteren mit trichterförmig erweiterten Ansatzröhren aus Glas versieht.

Zu bemerken ist, dass in dieser Maschine die Energie der Elektrisirung von der Energie der in die Receptoren fallenden Tropfen herrührt; sie entspricht genau dem Verluste an lebendiger Kraft, welche die Tropfen bei ihrer Bewegung erleiden.

Die Glasgefässe, welche zur Aufnahme der Conductorstäbe dienen, sind nach der Construction von W. Thomson zu Leydnerflachen umgewandelt, indem er sie an der Aussenseite mit Stanniol bekleidete und in sie concentrirte Schwefelsäure giesst, welche die Bleiplatten umgibt. Die Schwefelsäure erfüllt den doppelten

Zweck: die in den Gefässen enthaltene Luft sehr trocken zu erhalten und andererseits die innere Belegung der Leydnerflasche zu vervollständigen. Bei vorzüglicher Isolirungsfähigkeit des Glases kann der Elektricitätsverlust in diesen Condensatoren kaum den hundertsten Theil in drei bis vier Tagen überschreiten.

Diese Wasser-Influenzmaschine zeichnete sich nicht durch Erzielung von grossen Potential-Differenzen aus, sondern einerseits dadurch, dass sie lange Zeit (auch Jahre hindurch) bei geringem Flüssigkeitsausflusse geladen blieb, andererseits dadurch, dass die geringste Potential-Differenz mittelst dieses Apparates vervielfältigt werden konnte. Sie kommt auch dann in Thätigkeit, wenn man ohne eigentliche Zufuhr von Elektricität das Wasser in der richtigen Weise fliessen lässt, denn die einzelnen Theile des Apparates haben fast immer verschiedene elektrische Potentiale.

c) Ueber einige andere Apparate, welche nach dem Principe der Metallinductoren construirt sind.

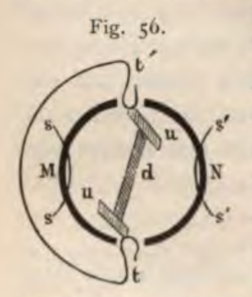
Wir wollen an dieser Stelle noch einiger Apparate gedenken, welche nicht zur Erzeugung von grossen Elektricitätsmengen von hohem Potentiale dienen, sondern dazu verwendet werden, entweder die Ladung eines Condensators auf einen gegebenen Werth zu bringen, oder um kleine Potential-Differenzen zu vervielfältigen. Bei den meisten dieser Apparate, welche zum grössten Theile von Thomson erdacht wurden, sind Uebertrager um eine Axe drehbar, die bei jeder Drehung in passende Stellung zu den Inductoren kommen; die leitenden Ver-

bindungen dieser Organe werden in der Weise bewerkstelligt, dass die Uebertrager mit den Inductoren durch Federn im geeigneten Zeitpunkte zur Berührung kommen. Das Princip, welches diesen Apparaten zu Grunde liegt, ist mit jenem der meisten Influenz-Elektrisirmaschinen so sehr verwandt, dass eine Beschreibung einiger diesbezüglicher Apparate hier am Platze sein dürfte.

Der Elektricitätsauffüller (Replenisher) von Thomson.

Diese Vorrichtung, welche **Thomson** gelegentlich der Herstellung seines absoluten Elektrometers erdachte, dient dazu, einen Condensator in einfacher Weise derart zu laden, dass dessen Potential constant bleibt. Er besteht (Fig. 56) im Wesentlichen aus zwei cylindrisch gekrümmten Leitern M, N, die aus einem ganzen Cylindermantel geschnitten wurden und beide an der Hohlseite mit Federn s und s_1 in Verbindung stehen; der eine dieser Leiter ist mit der inneren, der andere mit der äusseren Belegung eines Condensators, z. B. der beim absoluten Elektrometer vorhandenen Leydnerflasche, in Verbindung. Zwischen diesen beiden Conductoren befinden sich zwei andere Federn t und t_1, welche durch einen Metalldraht verbunden sind. An einem aus Hartgummi verfertigten Stabe, der in der Cylinderaxe sich befindet und mittelst eines Knopfes in dem einen oder anderen Sinne gedreht werden kann, befindet sich ein horizontaler Ebonitstab d befestigt, der zwei Metallplatten, die ebenfalls cylindrisch gekrümmt sind, trägt.

Fig. 56.



Nehmen wir an, der mit der inneren Belegung der Leydnerflasche in Verbindung stehende Leiter *N* sei positiv elektrisch und man drehe die beiden Metallflügel *u*, *u* in einem bestimmten Sinne, etwa dem Sinne des Zeigers einer Uhr entgegen. Schleifen die beiden Flügel an den Federn *s s* und s_1 s_1, dann sind sie im neutralen Zustande. Kommt das System der Metallflügel in die gezeichnete Stellung, dann nehmen sie unter dem influenzirenden Einfluss von *N* entgegengesetzte Elektricitäten an, der obere Metallflügel wird negativ elektrisch, der untere positiv elektrisch; bei weiterer Drehung gibt der erstere seine Elektricität an *M*, respective die äussere Belegung der Leydnerflasche ab, während der zweite unten gezeichnete Metallflügel seine positive Ladung an *N* abgibt, dessen Elektricitätsmenge somit verstärkt wird. Die Feder s_1 s_1 verlässt das unten gezeichnete *u* im neutralen Zustande und erleidet von neuem die eben erst beschriebene vertheilende Wirkung. Auf diese Weise wird das Potential von *N* und somit jenes der inneren Belegung der Flasche fortwährend vergrössert. Dreht man aber in entgegengesetzter Richtung, so wird eine fortwährende Verminderung des Potentials von *N* eintreten. Man kann auf diese Weise mittelst des Replenishers das für elektrometrische Versuche passende Mass der Ladung erhalten.

Die grosse principielle Aehnlichkeit dieses Apparates mit der früher beschriebenen Elektrisirmaschine von Varley tritt deutlich vor Augen.

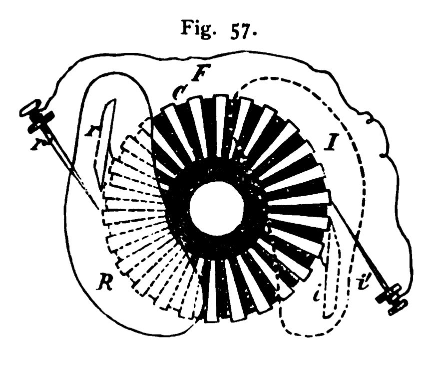
In der »elektrischen Mühle«, welche Thomson in Verbindung mit seinem für die unterseeische Telegraphie bestimmten Siphon-Recorder (Heberschreibe-

apparat) construirte und die den doppelten Zweck hat, alle Theile des Instrumentes in Bewegung zu setzen und gleichzeitig die elektrische Ladung der in diesem Instrumente gebrauchten Tinte zu unterhalten, treffen wir wieder das Princip des Replenishers. Als Motor betrachtet, ist die elektrische Mühle ein einfacher Froment'scher Motor, bei dem zehn Anker aus weichem Eisen, welche um eine horizontale Axe drehbar sind, successive durch einen Elektromagnet angezogen werden, der in oder ausser Wirksamkeit tritt, je nachdem die Rotation der Anker gewisse Contacte herstellt oder aufhebt. Als Elektrisirmaschine betrachtet, ist die elektrische Mühle ein Replenisher, wie er oben beschrieben wurde. Die zehn Eisenanker sind parallel zu den Erzeugenden eines Cylinders in einer Ebonitscheibe befestigt. Sie stellen die inducirten Theile eines Replenishers vor und drehen sich innerhalb zweier metallischer Halbcylinder, welche die Inductoren bilden. Die übrigen Theile des Apparates sind genau jene des gewöhnlichen Elektricitätsauffüllers und es ist deren Wirkungsweise genau dieselbe. Zwischen den beiden Inductoren wird constant eine sehr beträchtliche Potential-Differenz durch die Drehung der inducirten Theile des Apparates entstehen. Der eine von den Inductoren ist mit dem Erdboden direct verbunden, der zweite dient dazu, um die Tintenflüssigkeit constant elektrisch zu erhalten. Doch sei hier nebenbei bemerkt, dass die Verbindung mit dem zweiten Inductor keine directe ist und die Elektrisirung sich erst durch Influenz vollzieht. Es ist nämlich eine Spitze in leitender Verbindung mit diesem Inductor und befindet sich in einer gewissen Entfernung von einem Metallstücke,

das mit der Tinte leitend verbunden ist. Die Ladung der letzteren wird dann regulärer und constanter.

Die folgende Figur 57 zeigt einen derartigen Apparat. Die Metall-Lamellen sind von einander wohl isolirt und an Sectoren auf den beiden Seiten eines Ebonitrades *C* angebracht, das in dem von Thomson construirten Instrument nur 2 Zoll im Durchmesser hatte. *I* und *R* stellen zwei Metallblätter vor, welche nahezu die Hälfte des Rades umgeben. Wir können *I* als den Inductor, *R* den Receptor bezeichnen.

Fig. 57.



An den über dem Umfange des Eboniträdchens herausstehenden Sectoren schleifen die beiden Federn *i* und *r*, welche mit den metallischen Umhüllungen verbunden sind, um die auf den Sectoren erzeugte Elektricität dem Inductor und Receptor mitzutheilen. Die in der Figur ersichtlichen Federn *i'* und *r'*, welche man Verbinder nennen kann, sind unter einander durch einen Metalldraht verbunden. Laden wir den Inductor *I* etwa positiv elektrisch, so wird *i'* negativ, die abgestossene positive Elektricität geht durch den Verbindungsdraht zur Feder *r'*. Drehen wir z. B. den Apparat dem Sinne des Uhrzeigers entgegengesetzt, so wird die von *i'* auf die metallischen Zähne des Rades übergetretene negative Elektricität im Sinne dieser Drehung fortgeführt und an die Schleiffeder *r*, somit an den Receptor *R*

abgegeben; ebenso erhöht die von r' auf die Zähne übergegangene positive Elektricität die Ladung von I. Wie allmählich eine Vermehrung der Ladung eintreten kann, ist nach dem Vorigen leicht zu ersehen. Eine Zambonische Säule von 40 Elementen, welche mit ihren beiden Polen an den Inductor I und Receptor R gefügt ist, genügt zur Ladung der Maschine vollständig.

Apparate der eben beschriebenen Art können im Vereine mit einem Elektrometer dazu dienen, geringe Potentiale von Elektricitätsmengen zu bestimmen. Man verbindet nämlich die Inductoren des Apparates mit der zu untersuchenden Elektricitätsquelle und vergrössert durch Drehung der Maschine die Potential-Differenz so weit, dass sie z. B. mit einem Quadranten-Elektrometer gemessen werden kann. Man kann auf experimentellem Wege nun angeben, um wie viel bei jeder Rotation der Maschine die Potential-Differenz zunimmt, und man kann dann aus der Anzahl der Umdrehungen, welche der Apparat gemacht hat, und aus der schliesslichen Potential-Differenz der Inductoren I und R desselben angeben, wie gross die Potential-Differenz dieser bei den Inductoren ursprünglich war. Es haben somit derartige Apparate in der Elektrometrie, die heutigentags bis zu einem hohen Grade der Vollkommenheit gelangt ist, grosse Bedeutung.

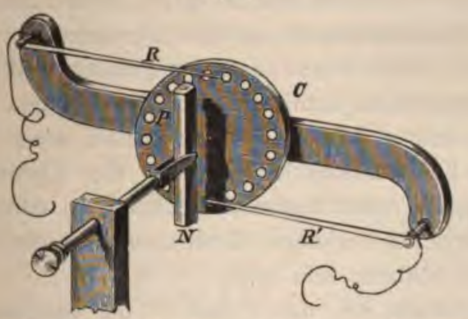
Auf eben denselben Principien beruht der nachfolgende, ebenfalls von Sir William Thomson angegebene Apparat.

Potentialausgleicher von Thomson.

In diesem Instrumente dreht sich eine Scheibe aus Hartgummi um eine durch ihren Mittelpunkt gehende zur Scheibenebene senkrechte Axe. Sie ist in der Nähe ihres

Umfanges mit Metallknöpfen versehen, an welchen zwei Federn schleifen, deren Enden zu einem Elektrometer geführt sind. Nehmen wir an, die beiden Federn seien gleichzeitig der influenzirenden Wirkung zweier mit Elektricität beladenen Conductoren, die aber ein verschiedenes Potential besitzen, ausgesetzt, dann wird nach einer bestimmten Zeit ein elektrischer Gleichgewichtszustand eintreten; es wird nämlich die von der einen Feder entfernte Elektricität auf die andere Feder übertragen und es wird

Fig. 58.



nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes die Potential-Differenz der beiden Federn, welche identisch mit dem Potential-Unterschiede der beiden Elektroden des Elektrometers ist, jener der beiden influenzirenden Körper proportional sein. Unsere Figur (Fig. 58) zeigt den Versuch, mittelst dessen man die Potential-Differenz an den Enden eines Turmalinkrystalls, den man erwärmt und dann abgekühlt hat, und der, wie man weiss, an den beiden Enden dann elektrisch different wird, bestimmen kann. Es sind noch mehrere Apparate dieser Art, welche bei elektrometrischen Versuchen gute Dienste leisten, con-

struirt worden, doch würde eine Beschreibung der Einrichtung und Wirkungsweise derselben die dem Buche gestellten Grenzen überschreiten. Der sich für diese Gegenstände interessirende Leser sei auf das erwähnte Werk von Thomson über Elektrostatik und Magnetismus verwiesen.

Bedingungen für die Zunahme der Ladung in den sogenannten Multiplications-Maschinen.

Zum Schlusse dieser Betrachtungen sollen noch die Bedingungen angegeben werden, welche in den Influenzmaschinen von Holtz und Töpler, in den zuletzt angegebenen Metallinductoren, welche unter dem Namen Multiplications-Maschinen zusammengefasst werden können, erfüllt sein müssen, damit die Ladung zunehmen könne. In den sogenannten Additionsmaschinen, wie z. B. in den Reibungs-Elektrisirmaschinen, wird die Ladungsgrenze dann erreicht sein, wenn die Ladungszunahme gleich den Elektricitätsverlusten (Zerstreuung in die Luft und durch die Stützen) sein wird.

Bezeichnen wir mit C und C' die elektrischen Capacitäten der beiden Elektricitätssammler oder Collectoren (z. B. der beiden Metallumhüllungen I und R in der elektrischen Mühle, Fig. 57), deren Potentiale seien V und V'; nennen wir ferner die Capacitäten der Uebertrager c und c' und n und n' die Anzahl der Operationen, welche in der Zeiteinheit ausgeführt wurden.

In einer sehr kleinen Zeit τ wird der Collector C einen Zuwachs an Elektricität dadurch erhalten, dass der vom Collector C' kommende Uebertrager seine Elektricitätsmenge an ihn abgibt; er wird aber auch einen Elektricitätsverlust erleiden und zwar durch Elektricitäts-

Zerstreuung; derselbe kann, wenn sein Potential einen nicht zu grossen Werth besitzt, demselben proportional gesetzt werden und wird somit etwa αV sein, wenn α ein Proportionalitäts-Factor ist. Nennen wir das Potential des Collectors C nach der Zeit τ z. B. v, so ist nach dem, was auf Seite 6 gesagt wurde, die Zunahme der Elektricitätsmenge $Cv - CV = C(v - V)$.

Andererseits ist die von dem Uebertrager c' in der Zeiteinheit dem Collector C zugeführte Elektricitätsmenge $n' c' V'$, somit jene in der Zeit τ zugeführte Elektricitätsquantität $n' c' V' \tau$; die in dieser Zeit durch Zerstreuung verloren gegangene Elektricität ist $\alpha V \tau$. Man hat demnach die Gleichung:

$$C(v - V) = n' c' V' \tau - \alpha V \tau \text{ oder}$$

$$C \frac{v - V}{\tau} = n' c' V' - \alpha V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Für den zweiten Collector ergibt sich die ganz analoge Gleichung:

$$C' \frac{v' - V'}{\tau} = n c V - \beta V' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Wenn v' das Potential dieses Collectors nach der Zeit τ bedeutet, wenn ferner für denselben der Zerstreuungs-Coëfficient β ist; derselbe hängt nämlich unter Anderem von der Gestalt des betreffenden Conductors ab.

Ein Wachsen der Ladungen tritt nur dann ein, wenn die linken Seiten der beiden Gleichungen (1) und (2) positiv sind, d. h. wenn

$$n' c' V' > \alpha V$$
$$\text{und } n c V > \beta V' \text{ ist.}$$

Durch Multiplication dieser Ungleichungen erhält man nun die gesuchte Bedingung: $n n' c c' > \alpha \beta$.

Bei fast allen Multiplications-Apparaten, wenigstens allen, die wir im Vorstehenden betrachtet haben, existirt vollständige Symmetrie; es sind die Collectoren unter einander gleich, ebenso die Uebertrager und letztere vollführen in gleichen Zeiten eine gleich grosse Anzahl Operationen. Aus diesem Grunde hat man:

$$C = C'$$
$$c = c'$$
$$n = n'$$
$$\alpha = \beta$$

und die vorige Bedingung nimmt die einfachere und übersichtlichere Form: $n\,c > \alpha$ an. Ist also diese Ungleichung erfüllt, dann wächst die Ladung der Maschine fortwährend. Es werden der Ladung nur Grenzen durch das Ueberspringen von Funken zwischen elektrisch differenten Theilen der Maschine gesetzt. Würde hingegen $n\,c < \alpha$ sein, dann würde die Ladung der beiden Collectoren rapid abnehmen und bald Null werden. Wir haben im Vorstehenden diese einfache theoretische Betrachtung unter der Voraussetzung des Gesetzes, dass die Elektricitäts-Zerstreuung dem Potentiale des Conductors proportional ist, eines Gesetzes, welches bereits von Coulomb durch vielfache Versuche bestätigt wurde, geführt. Es gilt dasselbe jedoch nur für kleine Ladungen, für grössere auf den Conductoren angehäufte Elektricitätsmengen findet die Elektricitäts-Zerstreuung in stärkerem Grade statt, als es nach Coulomb's Gesetz der Fall wäre. Es ist daher unsere obige Rechnung nicht vollkommen genau und es würde eine Uebereinstimmung zwischen Theorie und Experiment nur dann eintreten, wenn die Ladung der Collectoren noch immer dem Coulomb'schen Gesetze

entsprechend gering wäre. Es wird jetzt auch leicht begreiflich sein, dass die Leydnerflaschen, welche man z. B. mit den Conductoren einer Holtz'schen Influenzmaschine in Verbindung setzt, die Erfüllung der oberen Bedingung

$$n c > a$$

fördern. Denn durch die gegenseitige Bindung der Elektricitäten auf der Aussen- und Innenseite der Leydnerflaschen wird die Zerstreuung der Ladung sehr vermindert und es wird der Zerstreuungs-Coëfficient einen nur geringen Werth besitzen. Man ist also im Rechte, wenn man den mit den Elektroden verbundenen Condensatoren eine Hauptrolle in der Wirkungsweise der Maschine zuschreibt.

d) Bemerkungen über die Menge der durch die verschiedenen Elektrisirmaschinen erzeugten Elektricität, über die Messung derselben und der dabei aufgewendeten Arbeit und Vergleichung einiger häufig gebrauchten Maschinen.

Bei einer Elektrisirmaschine kommen zwei wesentliche Punkte in Betracht, es ist das der sogenannte Debit der Maschine, d. i. jene Elektricitätsmenge, welche in einer Secunde durch den Conductor, den man mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt denkt, fliesst, andererseits das grösste Potential, welches dieser Conductor erreichen kann. Man kann im Allgemeinen sagen, dass die Elektrisirmaschinen Elektricitätsquellen sind, die ein hohes Potential und einen kleinen Debit besitzen. Um sich von der Grösse des Potential-

werthes, welcher von der Gestalt der Maschine, der Isolirung der Conductoren und demzufolge dem hygrometrischen Zustande der umgebenden Luft und schliesslich von der aufgewendeten Arbeit abhängt, einen Begriff zu machen, erwähnen wir das interessante von Thomson angegebene Resultat, dass gute Reibungs-Elektrisirmaschinen, welche Funken von 3 cm liefern, ein Potential besitzen, welches fast jenem einer Säule von 80.000 bis 100.000 Daniell'schen Elementen gleichkommt. Bei manchen Maschinen kann dieser Potentialwerth wohl auch überschritten werden.

Nicht nur bezüglich der erreichbaren Potentialwerthe unterscheiden sich die im Vorhergehenden beschriebenen Generatoren hochgespannter Elektricität von den galvanischen Ketten, auch in Bezug auf die erzeugbaren Elektricitätsmengen treffen wir einen wesentlichen Unterschied zwischen diesen Gruppen elektrischer Maschinen an.

Die zur Erzeugung von Elektricität in den Elektrisirmaschinen dienliche Arbeit ist eine von Aussen zugeführte, und bei Steigerung derselben wird im Allgemeinen auch der Elektricitätsdebit ein bedeutenderer. Während — so lange eine Elektrisirmaschine noch nicht erregt ist — die zur Drehung der Scheibe erforderliche Arbeit eine geringe ist, steigert sich dieselbe sehr, wenn die Maschine zu functioniren beginnt, da elektrische Kräfte überwunden werden müssen; beim Entfernen der Elektrodenkugeln wird die in die Maschine verwendete Arbeit noch grösser, weil nun auch auf den Elektroden eine bedeutende Potential-Differenz hergestellt werden muss, damit die zwischen den Elektroden befindliche Luftstrecke von Funken durchsetzt werde.

Eine galvanische Batterie verhält sich in dieser Beziehung ganz anders. In derselben wird eine ganz bestimmte Leistung durch die chemischen Kräfte der Kette erzielt; sie lässt sich bei gegebenem Schliessungskreise weder verstärken noch vermindern; äussere Arbeitsleistungen vermögen keine Modification in dem Elektricitätsdebit der galvanischen Kette zu erzielen. Wir werden aber auch später erwähnen, dass die Beziehung zwischen der Arbeitsleistung und der Stromintensität bei den Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen ganz anderer Art ist als bei einer galvanischen Kette.

Die von einer Reibungs-Elektrisirmaschine in einer bestimmten Zeit erzeugte Elektricitäts-Quantität ist unter sonst gleichen Umständen der Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe proportional. Man hat aber diesbezüglich die Bemerkung gemacht, dass der Elektricitätsdebit merklich kleiner wird, wenn das Potential des Conductors zunimmt. Derartige Versuche wurden in der folgenden Weise angestellt: Man brachte den Conductor einer Elektrisirmaschine mit dem Erdboden durch einen Schliessungskreis in Verbindung und schaltete in denselben eine Lane'sche Massflasche*) und veränderte die Schlagweite derselben; dabei bestimmte man die Entladungen der Flasche für eine gewisse Anzahl von Rotationen der Scheibe. Es zeigt sich dann, dass der Elektricitätsdebit, der in Wirklichkeit gleich dem Producte aus der Anzahl der Entladungen der Massflasche und der Potential-Differenz ist, welche zu deren Hervorrufung erfordert wird und die in einer Weise bestimmt werden kann, auf

*) Beschrieben in den »Grundlehren der Elektricität« von W. Ph. Hauck (p. 42, Elektro-technische Bibliothek, Bd. IX).

die wir hier nicht eingehen können, geringer wird, wenn die Schlagweite der Lane'schen Massflasche, somit die Potential-Differenz, grösser wird.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch bei den Holtz-schen Influenzmaschinen; auch bei diesen wird, wenn die Schlagweite, somit der Potential-Unterschied der beiden Elektroden zunimmt, die Elektricitäts-Erzeugung der Maschine geringer, und man erkennt dies schon an dem schwächer werdenden Brausen der Maschine, wenn die Elektrodenkugeln auseinandergezogen werden, und an den Lichterscheinungen, welche am positiven Kamme im Dunkeln recht gut sichtbar sind.

Mit grosser Ausführlichkeit hat Rosetti im Jahre 1873 untersucht, welche Beziehungen zwischen der gelieferten Elektricitätsmenge und der consumirten Arbeit bei einer Holtz'schen Influenzmaschine bestehen. Er mass den von der Elektrisirmaschine gelieferten Strom mittelst eines Galvanometers seiner Stärke nach und konnte den Widerstand des Stromkreises dadurch variiren, dass er in demselben vier parallele, ungefähr 1580 mm lange mit destillirtem Wasser gefüllte Glasröhren einschaltete. Aus diesen Versuchen ergab sich, dass die zur Elektricitäts-Erzeugung dienliche Arbeit immer der Stromstärke proportional ist. Die letztere ist auch der Umdrehungs-Geschwindigkeit der beweglichen Scheibe proportional, jedoch nicht genau; sie nimmt ein wenig rascher zu.

Von Interesse sind die Beobachtungen, welche Rosetti über die Beziehungen zwischen der in einer bestimmten Zeit erzeugten Elektricitätsmenge und dem Feuchtigkeitsgrade der Luft gemacht hat. An Tagen, an welchen der relative Feuchtigkeitsgehalt der Luft ein

ɜdeutender ist, wird eine grössere Elektricitätsmenge ɜi gleicher Arbeit und eine kleinere bei gleicher Drehungs-eschwindigkeit entwickelt.

Rosetti hat die Ströme einer Holtz'schen Influenz-ıaschine mit jenen eines galvanischen Elementes verglichen nd nachgewiesen, dass die Stromstärke bei derselben Ro-ıtions-Geschwindigkeit fast im umgekehrten Verhältnisse es Widerstandes des zugefügten Stromkreises und einer rösse steht, welche er den inneren Widerstand der ıfluenzmaschine nennt; er stellt für den Strom einer ›lchen Maschine die Formel von Ohm auf, welche be-ınntlich

$$i = \frac{E}{W + w}$$

utet, wenn E die elektromotorische Kraft, W den inneren, den äusseren Widerstand bedeutet und i die Strom-tensität ist. Unter Zugrundelegung dieses Gesetzes fand aus seinen Versuchen, dass die elektromotorische Kraft ıter sonst gleichen Umständen von der Drehungs-ːschwindigkeit unabhängig ist, aber um eine kleine ·össe abnimmt, wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Luft össer wird. Nach Rosetti's Beobachtungen war die ɜktromotorische Kraft der von ihm verwendeten Ma-hine, wenn sie ihre grösste Wirkung gab, 50.000mal össer als jene eines Daniell'schen Elementes, wenn in iden Fällen die umgebende Luft sehr trocken war.

Was den inneren Widerstand der Maschine betrifft, findet Rosetti denselben abnehmend, wenn die Dre-ngsgeschwindigkeit der Scheibe zunimmt, und zwar erst schnell, dann langsam.

Jedenfalls sind diese Untersuchungen von Interesse, weil durch sie dargethan wird, dass die Elektrisirmaschinen nicht — wie man früher oft glaubte — Elektricitäts-Generatoren sind, bei denen die Stromstärke vom Widerstande des Schliessungskreises unabhängig ist. Schon Ampère und Gauss haben nämlich das merkwürdige Beobachtungsresultat bekannt gemacht, dass, wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit dem Erdboden leitend verbindet und in den Schliessungskreis ein Galvanometer einschaltet, die Ablenkung desselben dieselbe bleibt, wenn die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe constant erhalten wird, auch wenn man den Widerstand des Schliessungskreises variirt. Nach dem, was wir im Obigen erwähnt haben, darf uns diese Erscheinung jedenfalls nicht Wunder nehmen, denn wir sahen, dass eine Differenz der Entfernung der beiden Elektrodenkugeln von einigen Millimetern im Elektricitätsdebit keine wesentlichen Aenderungen hervorruft. Es ist aber der Widerstand auch einer dünnen Luftschichte so bedeutend, dass Widerstände, die wir durch Einschaltung von Drähten in den Stromkreis erzeugen, gegen diesen ganz unbeträchtlich sind, und wenn sie nicht sehr gross werden, die am Galvanometer abgelesene Stromstärke, d. i. die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt fliessende Elektricitätsmenge, nicht beeinflussen. Die von Rosetti gewählten Widerstände (Säulen von destillirtem Wasser) üben, wie wir eben gehört haben, einen wohl zu messenden Einfluss auf die Stromintensität aus.

Wiedemann tritt in seinem grossen Werke über Elektricität diesen Anschauungen entgegen. Er geht in seinen Betrachtungen von der experimentell erwiesenen

he aus, dass die Arbeitsleistung bei den Reibungs-
uenz-Elektrisirmaschinen nicht so wie bei dem
chen Elemente dem Quadrate der Stromstärke,
schlechthin dieser letzteren selbst proportional
schreibt diese Erscheinung einem discontinuir-
usgleiche der auf der Scheibe der Maschine und
ıductorkämmen befindlichen Elektricitäten zu, in
lessen durch die Leitung die Elektricität nicht
rlich abfliesst, sondern in rasch aufeinanderfolgen-
ɛrvallen. Dass es sich so verhält, lehren die in
ɔtirenden Spiegel auftretenden Lichterscheinungen.
darnach der Strom eines galvanischen Elementes
ɛm einer Elektrisirmaschine nicht in dieselbe Linie
ɛn.

rschiedene Physiker haben weitere Messungen der
ɡsfähigkeit der Influenzmaschine ausgeführt; so
hlrausch die Stromstärke einer Holtz'schen In-
ıschine mit zwei Papierbelegungen, deren dreh-
heibe 40 cm Durchmesser hatte, für den Fall
ıt, als sie das Maximum ihrer Wirkung hatte; es
ich, dass der Strom einer solchen Maschine erst
ɔtunden im Stande wäre, einen Kubikcentimeter
s im Voltameter zu erzeugen. Riecke hat vor
auch eine Holtz'sche Influenzmaschine zweiter
tersucht und gefunden, dass die bei einer Um-
erzeugte Elektricitätsmenge von der Umdrehungs-
ndigkeit unabhängig ist.

ung des absoluten Elektricitätsdebits einer Maschine.

n grossem theoretischen Interesse einerseits und
hen Werthe andererseits ist die Bestimmung des

absoluten Werthes jener Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch eine Elektrisirmaschine erzeugt wird, also des sogenannten Elektricitätsdebits. Es wurden in dieser Beziehung Messungen von Professor Mascart in Paris unternommen, deren Princip wir wenigstens in den Grundzügen darstellen wollen.

Wenn ein Conductor, dessen elektrische Capacität C ist, eine Elektricitätsmenge M zugeführt erhält, so erreicht er ein Potential V; wir haben bereits früher auseinandergesetzt, dass zwischen diesen drei Grössen die Beziehung

$$M = C V$$

besteht, da man unter elektrischer Capacität jene Elektricitätsmenge versteht, durch welche der Leiter das Potential Eins erlangt. Gelingt es also, das Potential eines Conductors, dessen Capacität bekannt ist, zu bestimmen, so ist durch obige Formel auch die dem Conductor zugeleitete Elektricitätsmenge bekannt.

Zuerst benützte Professor Mascart eine Holtz'sche Maschine mit zwei sich drehenden Scheiben, und er fand, dass 7 Umdrehungen der Scheiben genügend waren, um eine aus 5 Leydnerflaschen bestehende Batterie soweit zu laden, dass zwischen zwei bestimmten Kugeln, welche 1 cm entfernt waren, ein Funke übersprang. Die zwischen den Kugeln herrschende Potential-Differenz ergab sich in absolutem Masse 18·5. Wie derartige Potential-Unterschiede bestimmt werden können, kann hier nicht angegeben werden; es sei nur bemerkt, dass dieser Angabe folgendes Elektricitätsmass zu Grunde liegt: Eine Elektricitätsmenge gleich Eins ist jene, welche auf eine gleiche Elektricitätsmenge, die sich in einer Entfernung von 1 mm von der ersteren befindet, eine

Abstossung hervorruft, welche durch ein Milligramm gemessen werden kann. Nach der Definition des Potentiales, als des Quotienten einer Elektricitätsmenge durch eine Länge, lässt sich dasselbe in den absoluten Einheiten Millimeter und Milligramm) ausdrücken.

Es bleibt jetzt nur die Capacität der Leydnerflaschen-Batterie zu erforschen; dies wird bekanntlich durch Vergleichung der zu suchenden Capacität mit bereits bekannten Capacitäten (z. B. von Kugeln, bei welchen die elektrische Capacität genau durch den Halbmesser gegeben ist) erreicht; in dieser Weise fand Mascart die Capacität der von ihm gebrauchten Batterie gleich 225 m, also ebenso gross, wie jene einer Kugel von demselben Halbmesser. Die Elektricitätsmenge war daher im absoluten Masse durch

$$M = 18{\cdot}5 \,.\, 225 \,.\, 10^3 = 4200000$$

gegeben; bedenkt man, dass diese Elektricitätsquantität durch 7 Umdrehungen der Scheiben hervorgerufen wurde, so kann man sagen: die durch eine Scheibenumdrehung erzeugte Elektricitätsquantität ist im absoluten Masse (Millimeter, Milligramm) 600.000 Einheiten.

Mascart hat im weiteren Verlaufe seiner Betrachtungen auch die durch eine Influenzmaschine erzeugte elektrische Energie geschätzt. Dieselbe wird durch das halbe Product aus Elektricitätsmenge und Potential eines Conductors gemessen und bedeutet die Arbeitsgrösse, welche erforderlich ist, um auf den Conductor von der Unendlichkeit her eine Elektricitätsmenge M zu bringen, damit der Conductor das Potential V erreiche.*) Es konnte

*) Wir verweisen den Leser, welcher sich für diese wichtigen der theoretischen Elektricitätslehre zu Grunde liegenden Sätze interessirt,

nämlich die von Professor Mascart verwendete Influenzmaschine Funken bis zu 22 cm geben, was einer Potential-Differenz der beiden Kugeln von 222 absoluten Potential-Einheiten entsprechen würde. Unter der allerdings nicht strenge zutreffenden Voraussetzung, dass die Elektricitätserzeugung der Maschine in derselben Weise wie bei geringer Schlagweite vor sich gehe, ergibt sich nun leicht als Werth für die grösste mit einer solchen Maschine erreichbare Energie 0·067 Kilogrammmeter, wobei zu betonen ist, dass diese Energie einer Scheibenumdrehung entspricht. Würde die Scheibe 15 Umdrehungen in der Secunde vollenden, so würde die erzeugte elektrische Energie ungefähr 1 Kilogrammmeter sein; ebensoviel Arbeit wäre anzuwenden, um der Maschine unter den angegebenen Verhältnissen diese Rotations-Geschwindigkeit zu ertheilen, das allerdings unter der Voraussetzung, dass die consumirte Arbeit nur zur Elektricitäts-Erzeugung und nicht auch zur Ueberwindung anderer Widerstände verwendet wird, wie es in Wirklichkeit doch immer der Fall ist.

Wenn auch diese Betrachtungen nicht vollkommen genau den praktischen Fällen entsprechen, so geben sie immerhin ein sehr deutliches Bild von der Grössenordnung der in Frage stehenden Grössen des Elektricitätsdebits einerseits, der elektrischen Energie andererseits, und es ist durch sie der Weg angezeigt, den man in allen derartigen Untersuchungen einzuschlagen hat.

Die elektrische Energie einer Batterie kann noch auf andere Weise im absoluten Masse bestimmt werden.

auf das kürzlich ins Deutsche übertragene Werk von J. C. Maxwell: Die Elektricität in elementarer Behandlung (Braunschweig 1883).

Es ist nämlich durch mannigfache Beobachtungen dargethan worden, dass die elektrische Energie einer Batterie der Länge eines Metalldrahtes von bestimmtem Durchmesser proportional ist, welcher durch den Entladungsschlag der Batterie geschmolzen werden kann, so dass z. B. eine elektrische Batterie von der doppelten Energie einen doppelt so langen Metalldraht schmelzen kann, als eine andere Batterie, welche nur die einfache elektrische Energie besitzt. Andererseits hat man auch gefunden, dass die grösste Länge eines Metalldrahtes, der durch den Entladungsschlag einer Leydnerflaschen-Batterie geschmolzen werden kann, dem Quadrate der Elektricitätsmenge proportional ist. Wäre es nur möglich die Wärmemengen genau zu bestimmen, die erforderlich sind, um die dem Entladungsschlage ausgesetzten Metalle zu schmelzen, so könnte man aus den so bestimmten Zahlen einen Rückschluss auf die elektrische Energie ziehen.

Es ist aber zu bemerken, dass derartige Bestimmungen keinen grossen Grad der Genauigkeit besitzen. In erster Linie ist nicht die Annahme gestattet, dass die bei der Entladung frei werdende elektrische Energie total zum Schmelzen der Drähte verwendet wird; man bemerkt, insbesondere bei einer weniger heftigen Entladung, dass das Schmelzen des Drahtes nur an der Oberfläche erfolgt; ebenso nimmt man wahr, dass, bevor das eigentliche Schmelzen eintritt, in der Regel eine Zerstäubung des Drahtes an seiner Oberfläche erfolgt. Ein solcher physikalischer Vorgang erfordert aber eine beträchtliche elektrische Energie, welche nicht leicht in Rechnung gezogen werden kann. Es ist demnach leicht

einzusehen, dass die Werthe der elektrischen Energi welche man aus derartigen Schmelzversuchen erhält gegen die wirklichen Werthe zu klein ausfallen.

Andererseits sind die Schmelzwärmen trotz de Arbeiten bedeutender Physiker schlecht gekannte Zahlen — Kurz gesagt, man kann keineswegs das Gewicht de geschmolzenen Metalldrahtes als Mass für die elektrisch Energie betrachten und man kann höchstens aus solche Messungen einen Begriff von der Grössenordnung de letzteren erlangen. Professor Mascart nimmt an, dass ungefähr zwei Drittheile der elektrischen Energie zum Schmelzen der Drähte verwendet werden; das andere Drittel wird auf andere Weise im Schliessungskreise verbraucht

Mittelst dieser Annahme bestimmte Professor Mas cart die absolute Elektricitätsmenge, welche von de von van Marum in Anwendung gebrachten Maschin erzeugt wurde. Der letztgenannte Forscher gibt in seine Schriften an, dass diese Maschine bei 100 Umdrehunge im Stande war, eine Leydnerflaschen-Batterie, die au 135 Flaschen, von welchen jede einen Quadratfuss Ober fläche hat, bestand, so weit zu elektrisiren, dass zwische den Belegungen eine Selbstentladung entstand. Ausserden berichtet van Marum, dass diese Batterie in ihrer maxi ma'en Wirkung 25 Fuss eines Eisendrahtes von $^1/_{240}$ Zol im Durchmesser schmelzen konnte, was eine Wärme menge von ungefähr 72 Kilogrammmetern oder 72.10 Milligramm-Millimetern repräsentiren würde.

Da die Flaschen der van Marum'schen Batteri zum Theile noch erhalten waren, konnte Professor Mas cart leicht die Capacität einer Flasche, somit der ganzen Batterie bestimmen.

Nun ist die elektrische Energie durch die Formel

$$T = \frac{M\,V}{2},$$

wenn M die Elektricitätsmenge, V die Potential-Differenz der Leydnerflaschen-Batterie bedeutet, ausgedrückt; andererseits ist aber auch die Elektricitätsmenge M gegeben durch: $M = C\,V$, wobei C die gemessene elektrische Capacität der Batterie ist. Man kann durch Combination der beiden Formeln V eliminiren und erhält für die Elektricitätsmenge, welche auf der Leydnerflaschen-Batterie sich befand, durch 100 Scheibenumdrehungen also erzeugt wurde,

$$M = \sqrt{2\,C\,T}$$

und daher die bei einer Umdrehung der Maschine erzeugte Elektricitätsmenge

$$m = \frac{1}{100}\sqrt{2\,C\,T}.$$

Dies ist der Gedankengang, der zur Bestimmung des absoluten Elektricitätsdebits leitete. Aus den beobachteten und gerechneten Werthen ergab sich $m = 5120000$ in absoluten (Milligramm-Millimeter) Masse. Wenn wir diese Zahl mit jener vergleichen, welche ebenfalls von Professor Mascart für die durch eine Scheibenumdrehung seiner Holtz'schen Influenzmaschine erzeugte Elektricitätsmenge erhalten wurde, so sehen wir, dass die erstere Zahl mehr als das Achtfache der zweiten ist.

Selbstverständlich musste man auf die oben erwähnten Umstände Bedacht nehmen; man musste von der oben gegebenen Energie ein Drittel für die nicht elektrischen Erscheinungen im Schliessungskreise abrechnen. Bei genauen Messungen hätte man auch Rücksicht auf die

Elektricitätsmenge zu nehmen, die in den Flaschen der Batterie zurückbleibt, also auf jene Elektricitätsquantität, die unter dem Namen »elektrisches Residuum« bekannt ist. Dasselbe soll aber in der von van Marum verwendeten Batterie ein minimales gewesen sein.

Wir hielten es, bevor wir zur Vergleichung der Leistungsfähigkeiten einiger Elektrisirmaschinen übergingen, für nothwendig, auf diese absoluten Bestimmungen aufmerksam zu machen, weil man aus den diesbezüglich erhaltenen Zahlen sich ein deutliches Bild der Elektricitäts-Verhältnisse von Generatoren hochgespannter Elektricität entwerfen kann.

Vergleichung des Elektricitätsdebits verschiedener Maschinen.

Man kann die Leistungen verschiedener Maschinen mit einander vergleichen, wenn man in den Schliessungskreis einer Maschine eine Lane'sche Massflasche einschaltet und bei gegebener Entfernung der Kugeln derselben die Anzahl der Entladungen der Flasche bestimmt. Die zu vergleichenden Maschinen wurden in einen Zustand gebracht, dass sie das Maximum ihrer Leistung gaben. Als zur Elektricitäts-Erzeugung nützliche Oberfläche wurde bei diesen Versuchen, welche auch von Professor Mascart angestellt wurden, die von allen Spitzenkämmen in der Secunde überfahrene Oberfläche des Dielektricums gerechnet. So muss man, wenn z. B. die Elektrisirmaschine — und wir haben solche Modelle kennen gelernt — zwei Paar Kissen hat, die Fläche des Kreisringes, welcher der Länge des Saugkammes entspricht, mit 4 multipliciren. Bei den Influenzmaschinen, wie sie von Holtz construirt wurden, wurden die beiden Seiten

der Scheibe in Rechnung gezogen, aber nur einmal, obwohl der Scheibe zwei Kämme gegenüberstehen; denn der eine von diesen Kämmen übernimmt die Rolle des Kissens, der andere jene des Elektricitätssammlers oder Collectors.

In dieser Weise wurden die Reibungs-Elektrisirmaschinen von Ramsden, von van Marum, von Nairne, eine einfache Holtz'sche Influenzmaschine, eine mit zwei Scheiben und eine Influenzmaschine zweiter Art, ebenso eine Carré'sche und eine Armstrong'sche Maschine mit einander verglichen. Was die Stromintensität der einzelnen Maschinen betrifft, so war dieselbe bei der Holtz'schen Maschine mit zwei Scheiben am bedeutendsten, schwächer war sie bei der einscheibigen gewöhnlichen Holtz'schen Influenzmaschine und am allergeringsten bei der Maschine von Nairne. Die Armstrong-sche Hydro-Elektrisirmaschine lieferte einen Strom, der seiner Intensität nach etwas mehr als die Hälfte des Stromes einer einfachen Holtz'schen Influenzmaschine betrug.

Berechnet man das Verhältniss der von einer Elektrisirmaschine in der Secunde vollzogenen Leistung zur nutzbaren Oberfläche, so ergab sich dasselbe für die erwähnten Maschinen wie folgt:

Maschine	von	Ramsden	0·42
»	»	van Marum	0·80
»	»	Nairne	1·20
»	»	Holtz mit einer Scheibe .	12·8
»	»	Holtz mit zwei Scheiben .	12·3
»	»	Holtz (zweiter Art) . .	9·7
»	»	Carré	7·2

Diese Zahlen sprechen ganz deutlich zu Gunsten der neueren Influenzmaschinen gegenüber den Reibungs-Elek-

trisirmaschinen älterer Construction. Wie wir bald sehen werden, liefert der Funkeninductor noch bedeutendere Elektricitätsmengen, und es ist die Intensität des von diesem erzeugten Stromes weit bedeutender, als jene der Ströme der Elektrisirmaschinen.

II.

Inductions-Apparate als Generatoren hochgespannter Elektricität.

Im Jahre 1852 gründete Napoleon III. den sogenannten Voltapreis von 50.000 Francs, der demjenigen verliehen werden sollte, welcher die »bedeutendste Anwendung der Elektricität« darzustellen vermöchte. Hierbei war zunächst die Absicht ausgesprochen, Männer der Wissenschaft und der Praxis zur eingehenderen Untersuchung der Frage über die Verwendbarkeit der Elektricität als Triebkraft aufzumuntern. Der Erste, welcher den grossen Voltapreis erhielt, war der aus Hannover gebürtige, in Paris lebende Mechaniker Ruhmkorff, welcher 1877 im Alter von 74 Jahren starb. Der Apparat, dessenthalben Ruhmkorff der Preis zuerkannt wurde, ist der bereits im Jahre 1851 von ihm construirte, bis zum Jahre 1861 (dem Jahre der Preisvertheilung) bedeutend vervollkommnete Funkeninductor, dessen Einrichtung und Wirkungsweise wir an dieser Stelle näher zu erörtern haben, da sich mittelst dieses Apparates alle jene Erscheinungen in ausgezeichneter Weise hervorrufen lassen, zu denen eine grosse Spannung der Elektricität erfordert wird.

Der Funkeninductor von Ruhmkorff beruht auf den Gesetzen der galvanischen und Magneto-Induction, und es sollen dieselben hier nur kurz recapitulirt werden.

Gesetze der galvanischen Induction.

Denken wir uns einen geschlossenen Leiterkreis, in welchem ein sehr empfindlicher Galvanometer eingeschlossen ist; in der Nähe dieses Leiters befinde sich ein zweiter Leiter, durch welchen ein Strom geschickt werden kann, der in geeigneter Weise in seiner Intensität mannigfache Variationen erfahren, ja selbst bis auf den Werth Null (etwa unter Zuhilfenahme eines Blitzrädchens) gebracht werden kann. Dieser Stromkreis kann dem erstgenannten Leiterkreise auch genähert oder von demselben entfernt werden. Es hat sich nun herausgestellt, dass jedesmal, wenn im zweiten Leiterkreise der Strom beginnt oder aufhört, oder die Intensität des Stromes wächst oder abnimmt, oder auch die Entfernung der beiden Leiterkreise vergrössert oder verkleinert wird, im zweiten Leiterkreise ein Strom entsteht, der den Namen inducirter Strom führt, während der im ersten Kreise fliessende Strom inducirender Strom genannt wird. Meist wendet man als Stromkreis eine Spule kurzen und dicken Drahtes an und nennt diese Spule inducirende oder Hauptspule, auch primäre Spule; als den Leiterkreis, in welchem der inducirte Strom cursiren soll, gebraucht man durchwegs eine Spule von sehr langem und feinem, mit Seide übersponnenem Draht und nennt diese Spirale Inductionsspirale oder inducirte, oder auch secundäre Spirale. Warum die beiden Drahtleiter in ihren Dimensionen so verschieden gewählt sind, kann erst später erörtert werden.

Was die Dauer der Inductionsströme betrifft, so soll vorderhand nur gesagt werden, dass die letzteren nur einen Augenblick dauern, so dass die Galvanometernadel einen Ruck nach einer bestimmten Richtung erfährt und dann wieder allsogleich auf Null zurückkehrt. Was die Richtung der Inductionsströme anbelangt, so haben sich aus den Versuchen folgende Gesetze ergeben: Wenn im primären Stromkreise der Strom beginnt oder anwächst, oder der primäre Stromleiter dem secundären Leiter genähert wird, so entsteht im letzteren ein dem inducirenden Strome entgegengesetzt gerichteter Inductionsstrom; wenn aber im primären Leiter der Strom aufhört oder schwächer wird, oder sich dieser Leiter vom secundären Leiter entfernt, so hat der im letzteren hervorgerufene Inductionsstrom eine Richtung, welche mit der des inducirenden Stromes in Uebereinstimmung ist. So lange der primäre Leiter von einem constanten Strome durchflossen wird, zeigt sich im secundären Leiter kein Strom; auch dann, wenn der primäre stromdurchflossene Leiter seine relative Lage gegen den zweiten Leiter beibehält, existirt in diesem kein Inductionsstrom.

Das Gesetz der Hervorrufung eines Inductionsstromes durch Verrückung des primären Stromleiters drückt man zuweilen auch in folgendem Satze aus: Wenn ein von einem Strome durchflossener Leiter sich einem geschlossenen Leiterkreise nähert oder von demselben entfernt, so entsteht in demselben ein inducirter Strom, der eine derartige Richtung besitzt, dass, wenn er auf den inducirenden Strom nach den Grundgesetzen der Elektrodynamik wirkt, er dem letztgenannten Stromkreise eine der Bewegung desselben entgegengesetzte Bewegung

ertheilen würde. Oder kurz: die Induction durch Verrückung hindert die Bewegung, welche sie hervorruft. Dieses Gesetz, das in der Lehre von den inducirten Strömen eine grosse Rolle spielt, ist unter dem Namen des Lenz'schen Gesetzes bekannt.

Um in einer secundären Spirale rasch aufeinanderfolgende Inductionsströme hervorzurufen, hat man den Strom in der primären Spirale in rascher Aufeinanderfolge zu schliessen und zu unterbrechen; dies wird durch Strom-Unterbrechungsapparate oder Interruptoren (Rheotome), die mannigfacher Art construirt sind und deren Beschreibung gelegentlich der des Funkeninductors vorgenommen werden wird, erreicht. — Es ist auf experimentellem Wege gezeigt worden, dass die elektromotorische Kraft des inducirten Stromes um so bedeutender ist, je grösser die Stärke des ihn erregenden Stromes im primären Kreise ist; sie hängt ferner von der Anzahl der Windungen der secundären Spirale ab, welcher sie direct proportional ist; schliesslich ist die elektromotorische Kraft des Inductionsstromes eine Function der Geschwindigkeit, mit welcher der Strom geändert wird oder die Lage des inducirenden Stromkreises gewechselt wird. Will man also die elektromotorische Kraft des Inductionsstromes steigern, so wird man die Stromschliessungen und Stromunterbrechungen sehr rasch auf einander folgen lassen. Von dem Materiale des Drahtes ist die elektromotorische Kraft des inducirten Stromes ganz und gar unabhängig.

Magnetoinduction und deren Gesetze.

Nach Ampère's Theorie des Magnetismus besteht ein Magnet aus einer sehr grossen Anzahl gleich-

gerichteter Molecularströme, und es muss aus diesem Grunde die Annäherung oder Entfernung eines Magnetstabes von einem geschlossenen Drahtkreise in demselben einen momentanen Inductionsstrom erzeugen. Dies hat auch Faraday, der schon im Jahre 1831 die Grundgesetze der galvanischen oder Voltainduction und der Magnetoinduction studirte, nachgewiesen. Er zeigte, dass, wenn man einen Magnetstab in eine Spule (er wandte eine solche an, welche 200—300 Meter Draht enthielt) einführte oder denselben rasch herauszog, in der Spirale ein momentaner Inductionsstrom cursirte. Die Richtung der Inductionsströme in der Spirale kann man sofort angeben, wenn man an dem Gesetze der Richtung der hypothetischen Molecularströme im Magneten festhält: Um den Südpol fliessen die Molecularströme im Sinne des Zeigers einer Uhr, um den Nordpol dem Sinne des Zeigers einer Uhr entgegen. Mit Hilfe dieser Betrachtungen und der Berücksichtigung der Phänomene der galvanischen Induction lassen sich jederzeit die Richtungen der inducirten Ströme leicht angeben, wenn man einen Magnetpol einem Stromleiter nähert oder von demselben entfernt. Auch diesbezüglich gilt das Lenz'sche Gesetz, dass, so oft die relative Lage eines Magnetes gegen einen Stromleiter geändert wird, in diesem ein Inductionsstrom entsteht, welcher eine Bewegung hervorzurufen sucht, die jener entgegengesetzt ist, durch welche er selbst erzeugt wurde.

Auch dann, wenn man in der Spirale einen weichen Eisenkern hat und der ersteren plötzlich einen starken Magnet nähert oder von derselben entfernt, entstehen in der Spirale Inductionsströme von entgegengesetzter

Richtung. Dieselben verdanken ihren Ursprung der Magnetisirung und Entmagnetisirung des weichen Eisens durch den Magnetstab. Man kann deshalb die Inductionswirkung dadurch verstärken, dass man im Innern der Spirale weiche Eisenmassen anhäuft; dann wirken der inducirende Strom und der durch ihn erzeugte Magnet in demselben Sinne, und es ist deshalb die Gesammtwirkung eine bedeutendere.

Hier sei erwähnt, dass bereits Sturgeon die für die Construction von Inductions-Apparaten wichtige Bemerkung gemacht hat, dass bedeutendere Inductionswirkungen hervorgerufen werden, wenn man statt eines massiven Stabes von weichem Eisen ein Bündel von unter einander isolirten (etwa gefirnissten) dünnen Eisenstäbchen anwendet. Man verhindert auf diese Weise die Entstehung von bedeutenden Inductionsströmen, welche im Eisenkerne auftreten würden und ihrerseits eine dem inducirenden Strome entgegengesetzte Wirkung auf die secundäre Spirale ausüben möchten; andererseits aber würden derartige im Eisenkerne vorhandene Inductionsströme den ersteren im entgegengesetzten Sinne zu magnetisiren suchen, wie der Hauptstrom, und es würde dadurch eine Verlangsamung des Entstehens des vollen Magnetismus stattfinden. Wendet man aber statt eines massiven Eisenkernes ein Bündel von Eisendrahtstäben an, so kommen in denselben keine bedeutenderen Inductionsströme zu Stande, da letzteren keine ununterbrochene Leitung dargeboten wird.

Aus ganz demselben Grunde macht man die Umhüllung der Eisendrähte nicht aus Metall, sondern aus einem isolirenden Stoffe, z. B. Ebonit; denn in einer Metallhülle

würde der in derselben auftretende Inductionsstrom die oben beschriebenen ungünstigen Wirkungen hervorrufen

Es sei bemerkt, dass man öfters statt der Eisendrähte eine Eisenblechspirale angewendet hat, deren einzelne Windungen von einander gut isolirt sind. Auch hat man zuweilen mit gutem Erfolge die Drahtstäbe mit einer Metallhülle umgeben, die aber ihrer Länge nach aufgeschlitzt war. Dadurch erreichte man, dass die entstehenden Inductionsströme keine geschlossenen Bahnen antreffen.

Wir können, wenn wir die bei der Magnetoinduction beobachteten Thatsachen zusammenfassen, sagen: Jedesmal, wenn der inducirende Magnetismus entsteht oder vermehrt wird, entsteht ein Inductionsstrom, welcher den hypothetischen Ampère'schen Strömen entgegengesetzt gerichtet ist; dasselbe tritt auch ein, wenn der secundären Spirale der Magnet genähert wird. Hört jedoch der inducirende Magnetismus auf, oder wird derselbe vermindert, so entstehen in der Secundärspirale Ströme, welche mit den inducirenden Ampère'schen Strömen gleiche Richtung besitzen; dieses Phänomen zeigt sich auch dann, wenn der inducirende Magnet von der inducirten Spirale entfernt wird.

Aendert sich jedoch die Stärke des inducirenden Magnetes nicht und ändert derselbe auch seine relative Lage gegen die Inductionsspirale nicht, dann entsteht in derselben kein Inductionsstrom. Es soll hier nebenbei erwähnt werden, dass man auch Magnetoinductions-Ströme unter der Einwirkung des grossen Erdmagnetes erhalten kann und dass man erdmagnetische Inductoren construirt hat, mittelst welcher man diese Erscheinungen beobachten und studiren kann.

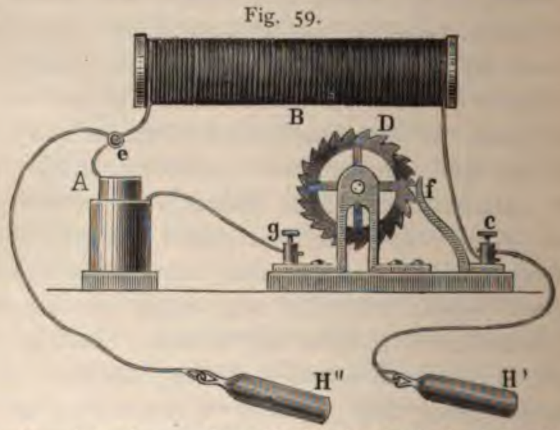
Die elektromotorische Kraft der Magnetoinductions-Ströme ist um so grösser, je grösser die Stärke des inducirenden Magnetes ist, ferner je bedeutender die Anzahl der Windungen der inducirten Spirale ist und schliesslich je schneller der Magnetismus im inducirenden Magnetstabe geändert wird oder je schneller der letztere der Spirale genähert oder von ihr entfernt wird. Wenn der äussere Widerstand, in dem der Inductionsstrom fliessen soll, grösser wird, so muss auch dessen elektromotorische Kraft grösser werden, es müssen daher unter sonst gleichen Umständen die Windungen der inducirten Spirale in grösserer Anzahl vorhanden sein. Wenn man die Windungszahl dieser Spirale bedeutend steigert, so können durch die stark anwachsende elektromotorische Kraft grosse äussere Widerstände überwunden werden. Wir werden sehen, dass man, von diesen theoretischen Betrachtungen ausgehend, in den Funkeninductoren die secundäre Spirale aus einem sehr langen (oft viele Meilen betragenden) äusserst feinen Kupferdrahte herstellt. Jedenfalls ist es, wie man durch Rechnung erfahren hat, am vortheilhaftesten, den inneren Widerstand der Inductionsspirale so gleich als möglich dem des äusseren Stromkreises zu machen.

Induction eines Stromes auf sich selbst. Extraströme.

Ein galvanischer Strom erzeugt nicht nur in einem benachbarten Stromleiter bei seiner Variation Inductionsströme, sondern er ruft auch solche in seiner eigenen Bahn hervor. Auch die diesbezüglichen Versuche wurden von Faraday angestellt, und er gibt diesen speciellen Inductionsströmen den Namen Extraströme. Man kann

das Vorhandensein derartiger Ströme entweder mittelst des Galvanometers oder durch die physiologischen Wirkungen, welche sie erzeugen, nachweisen. Zu letzterem Behufe schaltet man in den Stromkreis einer Batterie eine Drahtspirale *S S* (Fig. 59) ein; das eine Ende der Spirale ist mit dem einen Batteriepole verbunden, der andere Batteriepol ist in leitender Verbindung mit einer Klemmschraube, mit der noch eine metallene Handhabe

Fig. 59.



verbunden ist; das andere Ende der Spirale ist mit einer zweiten Klemmschraube in Verbindung und von derselben führt auch ein zweiter Draht zu dem zweiten Metallconductor. Ausserdem ist mit dieser Klemmschraube eine leitende Feder in Verbindung, welche am Umfange eines Neef'schen Blitzrädchens schleift.

Wenn der galvanische Strom in der Spirale entsteht, so wird durch Inductionswirkung der stromdurchflossenen Windungen auf die benachbarten ein Inductionsstrom erzeugt, welcher dem inducirenden Strome ent-

gegengesetzt gerichtet ist; ebenso entsteht ein Inductionsstrom, aber von derselben Richtung wie der inducirende, wenn der letztere unterbrochen wird. Es ist klar, dass der beim Schliessen entstehende Inductionsstrom den Hauptstrom schwächt, und es tritt daher derselbe nicht augenblicklich mit voller Intensität auf, sondern erst dann, wenn der Schliessungs-Extrastrom zu sein aufgehört hat. Andererseits wird im Augenblicke, in welchem der ursprüngliche Strom schon unterbrochen ist, der Oeffnungs-Extrastrom als eine Verlängerung des Hauptstromes erscheinen.

Wenn man nun das Blitzrädchen des oben beschriebenen Apparates in Drehung versetzt, so erhält man, wenn man die beiden Metallconductoren in die Hände nimmt, beim Unterbrechen des Hauptstromes einen intensiven augenblicklichen Schlag, welcher vom Oeffnungs-Extrastrome herrührt. Allerdings würde auch der Batteriestrom eine schmerzhafte Empfindung hervorrufen, doch ist dieselbe nicht so plötzlich, sondern von längerer Zeitdauer.

Der Oeffnungs-Extrastrom unterstützt also den Hauptstrom und verstärkt den Oeffnungsfunken, der Schliessungs-Extrastrom vermindert die Stärke des Hauptstromes und hebt den Funken im Momente der Schliessung des primären Stromes auf. Ganz besonders kräftige physiologische Wirkungen erzielt man, wenn man in die Spirale ein Bündel von weichen Eisendrähten einführt; diese Verstärkung rührt von der Magnetisirung des weichen Eisenkernes her; in dem zuletzt erwähnten Falle wirken nämlich galvanische und Magneto-Induction in demselben Sinne.

Dass der Hauptstrom bei seiner Schliessung in Folge des entgegengesetzt cursirenden Extrastromes erst allmählich, allerdings in sehr kurzer Zeit, zu seiner Maximal-Intensität anwächst, wurde bereits früher erwähnt. Beim Oeffnen des Stromes zeigt sich keine Verzögerung, er hört in diesem Falle sogleich auf. Man kann deshalb sagen, zum Verschwinden des Stromes in einer Spirale beim Oeffnen derselben ist eine kürzere Zeit erforderlich, als zum Entstehen des Stromes beim Schliessen.

Die Verzögerung des Stromes beim Schliessen kann bis $^2/_{10}$ Secunden betragen und kann höchst störend auf die Wirksamkeit der elektromagnetischen Motoren, auch z. B. auf die telegraphische Correspondenz auf langen (etwa submarinen) Linien einwirken. Wie man im letzteren Falle diesem Uebelstande abhelfen kann, wurde bereits in einem anderen Bande dieser Bibliothek erörtert.

Intensität der Inductionsströme.

Die Inductionsströme, welche durch eine primäre Spirale in einer secundären hervorgerufen werden, bieten einige Verschiedenheiten dar, je nachdem sie der Schliessung oder Oeffnung des Hauptstromes entsprechen; dieselben sind den beiden Extraströmen zuzuschreiben. Es zeigt sich, dass die beiden inducirten Ströme, der directe und der umgekehrte, der Quantität nach gleich, der Spannung nach verschieden sind. Alle Wirkungen, welche von der Quantität der inducirten Ströme, d. h. von ihrer absoluten Elektricitätsmenge herrühren, sind identisch, ob man nun den Inductionsstrom der Schliessung oder jenen der Oeffnung des primären Stromkreises

in Betracht zieht; das Galvanometer, durch welches die beiden rasch aufeinanderfolgenden, entgegengesetzt gerichteten Inductionsströme fliessen, zeigt keine Ablenkung an. In dem Falle aber, in welchem die Spannungserscheinungen der inducirten Ströme, d. h. die Potential-Differenz an den beiden Enden des inducirten Stromkreises, in Betracht kommt, zeigen sich die beiden Ströme sehr verschieden. Dies tritt z. B. dann ein, wenn die inducirten Ströme grosse Widerstände überwinden, z. B. Luftstrecken durchbrochen werden sollen. So ruft der Schliessungsstrom keinen Funken hervor, während der Oeffnungsfunke zu Stande kommt.

Der Grund dieser Erscheinung ist leicht einzusehen. Da das Verschwinden eines Stromes in einer Spirale beim Oeffnen rascher vor sich geht, als das Entstehen des Stromes beim Schliessen, so ist klar, dass beim Oeffnen des Stromes dieselbe Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit durch die secundäre Spirale cursirt, als beim Schliessen des primären Stromes. Aus diesem Grunde muss — wie es auch die Beobachtungen lehren — die Intensität des Inductionsstromes beim Oeffnen der primären Spirale grösser sein als jene des Schliessungs-Inductionsstromes.

Induction in nicht geschlossenen Stromkreisen.

Wir haben bisher die inducirende Wirkung eines Stromes oder eines Magnetes auf einen geschlossenen Stromkreis betrachtet. Wenn aber der letztere offen ist, so zeigen sich noch immer Inductions-Wirkungen in demselben; diese offenbaren sich jedoch nicht mehr in Strömen, sondern in entgegengesetzten elektrostatischen Ladungen;

die beiden einander gegenüberstehenden Enden des Stromkreises zeigen eine Potential-Differenz, welche der Intensität des inducirenden Stromes einerseits und dem Producte der Längen des inducirenden und des inducirten Stromkreises proportional ist. Bei der Näherung der beiden Enden des inducirten Drahtes beobachtet man ganz dieselben Erscheinungen der hochgespannten Elektricität, wie zwischen den Conductorkugeln einer functionirenden Holtz'schen Influenzmaschine.

Alle jene Phänomene, welche man mit den oben beschriebenen Apparaten, den Reibungs-Elektrisirmaschinen und den Influenzmaschinen, hervorrufen kann, lassen sich in ausgezeichneter Weise, ja mitunter noch intensiver mittelst Inductions-Apparaten erzeugen. Die Gesetze der galvanischen und Magnet-Induction wurden bei der Construction mannigfacher Apparate verwendet, es seien in dieser Beziehung ausser den magneto- und dynamoelektrischen Maschinen nur jene kleineren Apparate erwähnt, welche zu medicinischen, militär-technischen Zwecken dienen. Die Beschreibung der Einrichtung und Wirkungsweise dieser Instrumente findet der Leser in früheren Bänden der Elektrotechnischen Bibliothek. Im Nachfolgenden sollen nur jene Apparate eingehender erörtert werden, welche in erster Linie dazu berufen sind, hochgespannte Elektricität zu erzeugen und einen Ersatz für die Elektrisirmaschine zu bieten.

Funkeninductoren.

Das Princip aller dieser Apparate ist in der folgenden Figur 60 zu erkennen. E stellt ein Bündel von Eisenkernen dar, welche von einander durch Lackschichten

wohl isolirt sind. Rings um dieses Drahtbündel ist eine Spule aus dickem Drahte gewickelt, welche die primäre oder inducirende Spule genannt wird. Auf diese Spirale ist von ihr isolirt eine zweite Spirale gewickelt, welche aus sehr zahlreichen von einander gut isolirten Windungen eines zweiten sehr feinen Kupferdrahtes besteht und welche die secundäre oder Inductionsrolle genannt wird. Die Hauptspirale ist in den Stromkreis einer Batterie eingeschaltet; in ebendemselben befindet sich ein Strom-

Fig. 60.



interruptor, der, wie wir später sehen werden, mannigfache Constructionen erfahren hat. In unserer schematischen Figur besteht er aus einer Feder *K*, welche mit einem Eisenstücke *H*, dem sogenannten Hammer, der dem Eisendrahtbündel gegenübersteht, versehen ist. An diese Feder legt sich der Draht, welcher von dem einen Batteriepole kommt, berührend an. Man erkennt leicht die Wirkung dieses Interruptors. Sind die Verbindungen so wie es in der Figur dargestellt ist, so circulirt ein Strom durch die primäre Spirale, macht den aus Eisendrähten

bestehenden Kern magnetisch; in Folge dessen wird der Hammer von letzterem angezogen, dadurch aber der Strom unterbrochen; rasch werden nun die Eisendrähte unmagnetisch (was bei massivem Eisenkerne nicht der Fall wäre); der Hammer H wird durch die Federkraft zurückgeführt und ein neuer Stromschluss hergestellt u. s. w. Auf diese Weise entstehen rasch aufeinanderfolgende Stromschliessungen und Unterbrechungen, welche eine grosse Anzahl von abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Inductionsströmen zur Folge haben. Welche Modificationen der Unterbrechungsapparat erfahren hat, um die Wirkung zu einem Maximum zu steigern, werden wir später sehen.

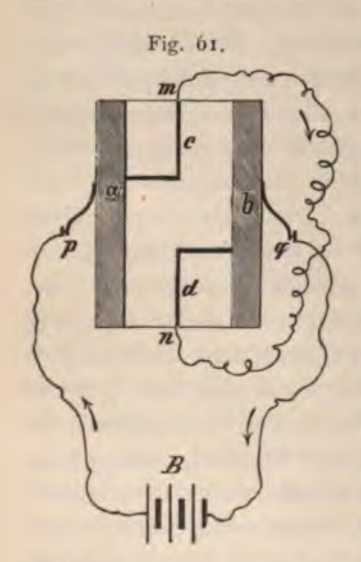
In der Figur nehmen wir noch einen Condensator wahr, der in den primären Stromkreis eingeschaltet ist und den zuerst der bekannte französische Physiker Fizeau mit dem Funkeninductor combinirte. Er hat dadurch die Spannung der inducirten Ströme um ein Beträchtliches gesteigert. Der Condensator besteht aus übereinander gelegten Stanniolblättern, welche von einander durch Blätter von starkem Papier wohl isolirt sind. Die letzteren sind grösser als die Stanniolblätter und in eine Harzlösung getaucht worden. Sehr häufig wendet man anstatt Papier Wachstaffetblätter an. Das erste, dritte, fünfte u. s. w. Stanniolblatt überragt die Papierblätter auf der einen Seite, das zweite, vierte, sechste u. s. w. Stanniolblatt auf der anderen Seite. Die erstgenannten sind unter einander verbunden und bilden eine Belegung des Condensators, ebenso bilden die mit einander verbundenen geraden Stanniolblätter die zweite Belegung desselben. In den grossen Funkeninductoren erreichen die

Belegungen des Condensators zuweilen je die beträchtliche Grösse von 20 Quadratmetern. Die Verbindung des Condensators mit dem Stromkreise ist aus der Figur zu ersehen. Der Condensator ist gewöhnlich in einem Kasten, welcher den ganzen Apparat trägt, befindlich.

Um die Rolle des Condensators in der Wirkungsweise des Funkeninductors zu erkennen, erinnern wir uns, dass bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes in dem Stromkreise des letzteren ein gleichgerichteter Extrastrom entsteht, welcher die Dauer des Stromes verlängert und in Folge dessen die Spannung des inducirten Oeffnungsstromes schwächt. Ist nun aber der Condensator in den inducirenden Stromkreis eingeschaltet, so wird der Extrastrom eine Ladung des Condensators bewirken, indem positive Elektricität gegen die eine Belegung, negative Elektricität gegen die andere Belegung geschickt wird. Diese entgegengesetzten Elektricitäten vereinigen sich sogleich wieder durch den starken Draht der primären Spule, die Batterie und den Stromkreis, welcher die beiden Belegungen verbindet, und geben Anlass zu einem Strome, welcher jenem der Batterie entgegengesetzt ist; in Folge dessen erfolgt eine augenblickliche Entmagnetisirung der Eisendrähte und es ist der inducirte Strom deshalb von einer kürzeren Dauer und demzufolge intensiver. Während ohne Condensator die Funken an der Unterbrechungsstelle intensiv sind, wird bei Einschaltung des Condensators in den Schliessungskreis dieser Funke schwächer und es werden die an den Unterbrechungsstellen befindlichen Metallplättchen, die gewöhnlich aus Platin sind, nicht so leicht zerstört oder unfähig gemacht.

An den Ruhmkorff'schen Funkeninductoren befinden sich in der Regel noch Commutatoren angebracht, durch welche es möglich wird, die Richtung des inducirenden Stromes zu wechseln und daher auch die Pole des inducirten Drahtes zu verändern. Das Princip des bereits von Ruhmkorff construirten Apparates dieser Art ist durch die beistehende schematische Fig. 61 dargestellt. Er besteht im Wesentlichen aus einem Cylinder aus Elfenbein oder aus Buchsbaumholz, der an seinen Seiten mit Kupferwülsten *a* und *b* bedeckt ist, an welchen zwei Federn *p* und *q* schleifen, zu welchen die von den Polen der Batterie *B* kommenden Drähte führen. Der Cylinder ist um seine Axe drehbar und besitzt in seinem Innern zwei aus der Figur ersichtliche Canäle *c* und *d*, welche mit Metall gefüllt sind; die Enden *m* und *n* der letzteren sind mit den Enden der primären Spirale verbunden. In der gezeichneten Lage cursirt der Strom im Kreise der Hauptspirale im Sinne des Zeigers einer Uhr. Wird nun der Commutator um 180⁰ gedreht, so gelangt *a* an die Stelle vor *b* und umgekehrt; der Strom circulirt nun im Kreise der Hauptspirale von *n* gegen *m*, also in der gezeichneten Figur dem Sinne des Uhrzeigers entgegen.

Fig. 61.



Wenn man den Commutator nur um 90^0 dreht, so legen sich die elastischen Federn nicht mehr auf die Kupferwülste *a* und *b*, sondern auf den Buchsbaumcylinder an und der Strom ist unterbrochen.

Hauptspirale, Inductionsspirale, Unterbrechungsapparat, Condensator und Commutator sind die wesentlichen Bestandtheile eines Funkeninductors, und es erübrigt noch die specielle Einrichtung dieser Bestandtheile zu erörtern, was im Nachfolgenden geschehen soll.

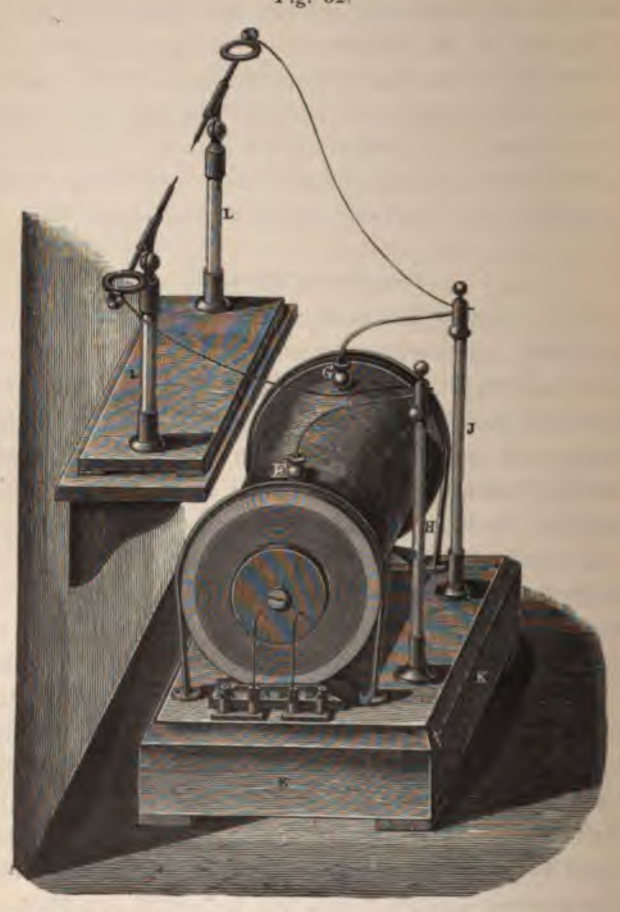
Inducirende Spirale.

Wie schon früher erwähnt wurde, besteht dieselbe aus dickem, im Verhältniss zu jenem der secundären Spirale kurzem Drahte. Die Dicke dieses Drahtes variirt von 2—2·5 mm, er ist aus Kupfer und mit Seide übersponnen und jede Spirale ist von der folgenden durch Schellack isolirt. Die Dimensionen der grössten Inductionsrollen, welche Ruhmkorff construirte, betragen 65 cm Länge und 24 cm Durchmesser; die Länge des inducirenden Drahtes ist 40—50 m. Doch sind noch viel grössere Inductionsrollen construirt worden und es sei in dieser Beziehung die von Apps nach den Angaben Spottiswoode's verfertigte Inductionsrolle von 4 englischen Fuss Länge und 20 Zoll Durchmesser, bei welcher der ungefähr $^1/_{10}$ Zoll dicke Hauptdraht eine Länge von 660 Yard hat, und der grosse Funkeninductor des polytechnischen Institutes in London, der 3 m Länge hat und bei dem der 54 kg wiegende inducirende Draht die bedeutende Länge von 3450 m besitzt, erwähnt.

Den inducirenden Draht windet man auf einen hohlen Cylinder von Holz oder starker Pappe, welcher

also den Kern der Spule bildet. Diese Röhre ist mit

Fig. 62.



einem Bündel dünner Drähte von weichem Eisen, welche separat gefirnisst sind, gefüllt und es ragt das Bündel

an der einen Seite aus der Röhre ein wenig hervor. Die freien Drahtenden der inducirenden Spirale stehen (Fig. 62) mit den Klemmschrauben *A* und *B* in leitender Verbindung und es kann der inducirende Strom in diese Spirale mittelst der Messingsäulen *C* und *D* geschickt werden.

Inductionsspirale.

Die Hauptspirale ist von einer Glasröhre oder einer Hartgummiröhre umgeben, auf welcher die secundäre Spirale aufgewickelt ist; diese besteht aus sehr dünnem Kupferdraht (bei grossen Inductionsrollen $^1/_5$ mm Durchmesser, bei kleineren $^1/_3$ mm), der eine beträchtliche Länge besitzt. Letztere erreicht bei grösseren Apparaten zuweilen 120.000 m; in der Inductionsrolle von Spottiswoode, der wir früher gedachten, beträgt diese Länge 180 englische Meilen; der Draht war in vier Abtheilungen gewunden und für die mittleren Abtheilungen $^1/_{100}$ Zoll dick, für die beiden äusseren Abtheilungen ein wenig stärker; die gesammte Anzahl der Inductions-Windungen dieses mächtigen Inductors betrug 341.850. In dem Funkeninductor des Londoner polytechnischen Institutes ist der inducirte Draht 241 Kilometer lang und hat einen Durchmesser von 0·4 mm. Bei Vermehrung der Länge des dünnen Drahtes erreicht man eine grössere Potential-Differenz; bei Vergrösserung des Durchmessers desselben gewinnt man an Quantität der Elektricität. Auf die Isolirung der Windungen des secundären Drahtes ist die grösste Sorgfalt zu verwenden. Die einzelnen Lagen des an und für sich sehr gut isolirten Drahtes werden noch besonders von einander dadurch isolirt, dass man jede Lage überfirnisst oder mit einer

isolirenden Substanz (z. B. Wachs) überzieht oder auch zwischen je zwei Lagen eine Schicht von Wachspapier oder eine Guttaperchaplatte legt. Diese sehr grosse Vorsicht bei der Isolirung der einzelnen Lagen erweist sich deswegen als dringend nothwendig, weil zwei übereinander liegende Windungen oft sehr weit entfernten Stellen des inducirten Drahtes entsprechen. Bei der Erregung des Stromes in der secundären Spirale nimmt die elektrische Spannung in dem Drahte der secundären Spule von der Mitte gegen die Enden sehr zu und ist aus diesem Grunde an zwei von einander weit entfernten Stellen sehr verschieden. In Folge dieser immerhin bedeutenden Potential-Differenz kann bei wenig sorgfältiger Isolirung der einzelnen Schichten ein directer Ausgleich der Elektricitäten von einer Lage zur anderen eintreten. Es kann auch bei nicht recht schwachen inducirenden Strömen zuweilen geschehen, dass bei nicht vorsichtiger Isolation leicht ein Durchbrechen der isolirenden Schichten geschieht.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, hat schon Poggendorff den Vorschlag gemacht, die secundäre Rolle aus mehreren kürzeren Rollen zusammenzusetzen, deren Enden mit einander leitend verbunden werden. Ruhmkorff hat diesen Vorschlag in seinen neueren Apparaten acceptirt und stellte die Inductionsrollen aus einzelnen Stücken her, indem er schmale Streifen der Rollen bis zur vollen Dicke windet und auf diese Weise die ganze Rolle aus solchen Einzelrollen zusammensetzt. Stöhrer hat in den von ihm construirten, vielfach in Verwendung stehenden Funkeninductoren die einzelnen Lagen nicht mehr so aufgewickelt, dass sie einen hohlen

Cylinder bilden, sondern so, dass eine Scheibe formirt wird, deren Ebene senkrecht auf der Axe der Spirale ist. Wenn die Windungen der einen Scheibe von Innen nach Aussen gehen, so gehen sie in der nächsten Scheibe von Aussen nach Innen zurück. — In dem Funkeninductor von Spottiswoode ist der secundäre Draht ebenfalls in einer Anzahl von Scheiben aufgewunden, welche durch Hartgummiplatten von einander getrennt sind. Dann sind die Theile des Drahtes, welche sich auf einem sehr verschiedenen Potentiale befinden, durch die Ebonitplatten von einander getrennt.

Die Enden des inducirten Drahtes sind mit zwei Metallstücken verbunden, die von Glasfüssen isolirt getragen werden; man kann die beiden Metallstücke, welche die beiden Pole vorstellen, durch Drähte in leitende Verbindung mit jenen Apparaten bringen, durch welche man eine Entladung senden will.

Unterbrechungs-Apparate.

Man hat mehrere Unterbrecher construirt. Der einfachste von ihnen ist der Unterbrechungshammer, der bereits früher beschrieben wurde. Derjenige Theil des Interruptors, welcher die Anziehung des Hammers bewirkt, ist entweder — wie wir es aus der obigen schematischen Figur ersehen — mit der Inductionsrolle in engster Verbindung, oder er ist von dem eigentlichen Funkeninductor getrennt. Im ersteren Falle verwendet man die alternirende Magnetisirung und Entmagnetisirung der in der secundären Spule befindlichen Eisendrähte selbst, um den Hammer in vibrirende Bewegung zu versetzen. Bei dem von Stöhrer construirten, in der

Fig. 63 dargestellten Apparate ist der Interruptor *E* aus einem Elektromagnete gebildet, der auf den Hammer *GF* wirkt, welcher um eine horizontale Axe drehbar eingerichtet ist; das eine Ende der inducirenden Spirale *B* ist mit dem um den Elektromagnet des Interruptors gewickelten Drahte in leitender Verbindung, das

Fig. 63.



zweite Ende des erwähnten Drahtes ist mit der metallischen Axe des Hammers *GF* verbunden. *J* stellt eine Kupferfeder vor, auf welche ein Stift *H*, der mit dem Hammer in Verbindung ist, drückt, wenn der letztere nicht angezogen wird; diese Kupferfeder steht mit der Klemmschraube *K* in leitender Verbindung. Die beiden einander gegenüberstehenden Flächen des Stiftes *H* und

der Kupferfeder J sind mit· Platinplättchen überkleidet. Die Wirkungsweise dieses Interruptors ist leicht einzusehen: Der bei der Klemme K eintretende Batteriestrom geht zur Feder J, dem Stifte H, der Axe des Hammers, von da durch die Windungen des Elektromagnetes zur primären Spule und zur Batterie zurück. Es wird der Elektromagnet erregt, F von demselben angezogen und H von der Feder J abgehoben; dadurch tritt eine Stromunterbrechung ein, der Elektromagnet wird unmagnetisch und der Hammer durch eine in der Figur ersichtliche Feder in seine gewöhnliche Lage zurückgeführt; nun wiederholt sich der Vorgang in bestimmten Zeitintervallen.

Bei allen diesen Apparaten darf die Oscillations-Geschwindigkeit des Hammers nicht allzu gross sein, da man dann keine sehr starken Inductionsströme erhält. Der Grund dieser Erscheinung ist folgender: Es kann der bei der jedesmaligen Schliessung des inducirenden Stromkreises, wenn die Oscillations-Geschwindigkeit des Hammers eine zu bedeutende ist, gebildete Extrastrom noch nicht vollständig ablaufen, und deshalb erhält der Eisenkern nicht seine grösste Magnetisirung, in Folge dessen auch der Inductionsstrom ebenfalls nicht das Maximum seiner Intensität erreichen kann.

Von praktischem Interesse ist die von Sinsteden gemachte Beobachtung, dass, wenn die gegeneinanderschlagenden Theile des Unterbrechungs-Apparates nicht aus Platin, sondern aus anderen Metallen, wie etwa Silber, verfertigt sind, die Potential-Differenz und die Schlagweite zwischen den Polen der inducirten Spirale geringer wird. Es kommt unzweifelhaft diese Erscheinung daher, dass die Unterbrechung des inducirenden Stromes nicht genug

schnell vor sich geht, weil durch Theilchen der geschmolzenen Metalle die Leitung noch einige Zeit vermittelt wird. Platin ist viel widerstandsfähiger als andere Metalle und deshalb erfolgt die Interruption bei Anwendung von Platinlamellen schneller.

Eine sehr wichtige Vervollkommnung des Funkeninductors wurde durch die Anwendung des sogenannten Quecksilber-Interruptors von Foucault erreicht. Professor Poggendorff zeigte nämlich, dass es vortheilhafter ist, die Unterbrechung statt in Luft in schlecht leitenden Flüssigkeiten vor sich gehen zu lassen. Man erreicht nämlich dadurch eine raschere Unterbrechung des inducirenden Stromes, sowie auch einen schnelleren Verlauf des Oeffnungs-Inductionsstromes und daher auch eine grössere Intensität desselben. Der in der Luft an der Unterbrechungsstelle auftretende Funke unterhält nämlich noch einige Augenblicke die leitende Verbindung zwischen den getrennten Theilen, was auch die Verstärkung des Oeffnungsfunkens durch den Extrastrom fördert. Bei Anwendung einer schlecht leitenden Flüssigkeit wird die Bildung des Oeffnungsfunkens gehemmt, somit die Leitung schnell unterbrochen. Zu bemerken ist, dass man eine gar nicht leitende Flüssigkeit nicht in Anwendung bringen darf; denn in diesem Falle würden die durch die inducirende Spirale gegen die Unterbrechungsstellen getriebenen Elektricitäten in die Spirale zurückkehren und in derselben sich ausgleichen; es würde der verschwindende Strom von entgegengesetzter Richtung den Inductionsstrom bedeutend schwächen. Am besten eignet sich als Unterbrechungs-Flüssigkeit 80percentiger Alkohol oder Brunnenwasser.

Die Beschaffenheit des Foucault'schen Interruptors wird aus folgender Figur (Fig. 64) erkannt: Er besteht aus zwei Glasgefässen *A'* und *B'*, welche Quecksilber enthalten, das mit Alkohol überdeckt ist. In diese

Fig. 64.



Gläser tauchen zwei Platinstifte *A* und *B*, welche an dem Arme eines Hebels *a B A* befestigt sind. Am anderen Hebelarme ist ein Anker aus weichem Eisen *a* befestigt, der durch einen Elektromagnet *D D* angezogen werden kann. Der Hebel *a A B* wird seinerseits von einem Stäb-

chen *c C* getragen, welches Federkraft besitzt und leicht in Schwingungen versetzt werden kann. Oberhalb dieser Feder befindet sich ein verschiebbares Laufgewicht. Die Oscillationen, in welche die Feder geräth, wenn man sie anstösst, haben verschiedene Geschwindigkeit, wenn man die Lage des Laufgewichtes verändert. Diese Feder kann durch eine gezahnte Stange gehoben oder gesenkt, und es kann ihre Stellung derart regulirt werden, dass die Platinstifte die Quecksilberoberfläche genau berühren oder nur wenig in das Quecksilber eintauchen.

Vom Boden der Gefässe ragen in dieselben bis zur Höhe des Quecksilbers und gerade unter den vorhin erwähnten Platinspitzen andere Platinstifte, welche die herabgehende Bewegung des Hebels hindern. Der metallische Boden des Gefässes *B'* ist durch einen Metallarm mit der Klemmschraube *k* in Verbindung; der Metallboden des Gefässes *A'* einerseits mit der Klemmschraube *K*, andererseits mit dem einen Axenstücke des vorhin beschriebenen Commutators; das andere Axenstück des letzteren ist mit der Klemmschraube *H* verbunden. Das eine Ende des Elektromagnetdrahtes führt zur Klemme *k'*, das andere Ende zur Feder *c*, welche ihrerseits mit dem Metallstücke *EF* communicirt.

Zum Betriebe des Apparates wendet man ein eigenes Element an und verbindet die Pole desselben mit den Klemmschrauben *k* und *k'*; die Polenden des inducirenden Stromes werden mit den Klemmschrauben *m* und *n* des Commutators verbunden. Die Drahtenden der inducirenden Rolle verbindet man mit *H* und *F*. Die Klemmschrauben *E* und *K* sind für die Einschaltung des Condensators in den Stromkreis der inducirenden Rolle bestimmt.

Nehmen wir nun an, der Platinstab B tauche in das Quecksilber, dann geht der Strom des Hilfselementes von k durch B' nach B, von da zur Feder c, durchfliesst die Windungen des Elektromagnetes und kehrt von k' zum Elemente zurück. Der Elektromagnet wird nun erregt, a angezogen, B aus dem Quecksilber herausgezogen und somit der Strom unterbrochen. Vermöge ihrer Federkraft geht nun c C zurück und es wird ein erneutes Eintauchen des Stiftes B in das Quecksilber des Gefässes B' bewirkt, es ist also wieder Stromschluss eingetreten. In der erwähnten Weise wiederholt sich der Vorgang rasch nach einander; je höher das in der Nähe von C befindliche Laufgewicht gestellt wird, desto langsamer gehen die Vibrationen der Feder vor sich; am allerschnellsten werden sie, wenn man dasselbe ganz entfernt. Durch die Vibrationen der Feder wird auch das Platinstäbchen A aus dem Quecksilber gehoben und wieder in dasselbe gesenkt und dadurch der in der inducirenden Rolle cursirende Strom alternirend geöffnet und wieder geschlossen. Wenn etwa A in das Quecksilber des Gefässes A' taucht, geht der Batteriestrom von dem Axenstücke l des Commutators zum Quecksilber des Gefässes A', von da über c nach F zur inducirenden Rolle, von dieser nach H, dann zum Axenstücke q des Commutators zur Batterie zurück; kommt A aus dem Quecksilber heraus, so wird dieser inducirende Strom unterbrochen.

Die Quecksilber-Interruptoren haben ausser dem früher erörterten Vortheile noch jenen, dass die Contactstellen durch den Oeffnungsfunken nicht so leiden, wie bei Interruptoren, bei welchen die Unterbrechung in der Luft er-

folgt, und vielleicht sogar schmelzen; in den Quecksilber-Unterbrechern wird die Berührung der Contactstellen mit dem Sauerstoffe der Luft auch verhindert, und deshalb erfolgt keine Oxydation derselben. Anstatt in die Gefässe *A'* und *B'* Quecksilber zu giessen, kann man den Boden derselben mit Platinamalgam bedecken, das einen dickflüssigen Brei bildet, und auf dieses Amalgam erst Alkohol giessen.

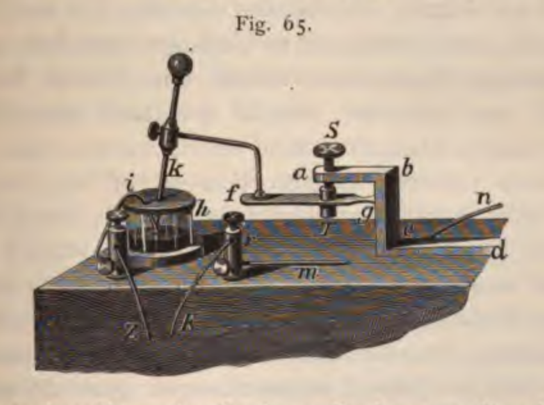
Der eben beschriebene Quecksilber-Unterbrecher wird in verschiedener Weise angewendet. Bei manchen derartigen Interruptoren sind zwei Commutatoren im Gebrauche, von denen der eine in den Kreis desjenigen Stromes eingeschaltet ist, der den Elektromagnet erregt, der andere sich aber im Stromkreise der primären Spirale befindet. — Bei manchen Inductions-Apparaten bedient man sich des Quecksilber-Interruptors mit einem einzigen Gefässe, zu dessen Erregung keine eigene Hilfsbatterie angewendet wird, sondern der in der inducirenden Spirale cursirende Strom dient. In diesen Apparaten ist der Elektromagnet das Bündel aus weichen Eisendrähten, welches sich im Innern der primären Spule befindet. Die bequemere Handhabung derartiger Inductions-Apparate hat deren vielfache Einführung gefördert.

Einen ähnlichen Unterbrecher hat Stöhrer in seinen neueren Apparaten gebraucht. Er ist in Fig. 65 dargestellt. Stöhrer hat in diesen Apparaten die inducirende und Inductionsspirale vertical aufgestellt (Fig. 63). Unter der primären Spirale befindet sich der horizontale Theil *c d* des Eisenstückes *a b c d*, welches zweimal rechtwinklig gebogen ist, und es stehen auf dem Ende dieses Eisenstreifens die Eisendrähte auf, welche in der Höhlung des

Inducenten sich befinden. Am Ende des horizontalen Streifens *a b* befindet sich eine eiserne Schraube *S*, welche unten etwas vorragt. *f g* ist eine Messingfeder, welche einen eisernen Zapfen *T* trägt und deren Verlängerung einen Draht *k* trägt, dessen unteres Ende gerade in das Quecksilber des Gefässes *h* taucht und dessen oberer Theil in eine Kugel endigt.

Der von einer Batterie kommende Strom geht zur Klemmschraube, die in unserer Figur links gezeichnet

Fig. 65.



ist, von derselben durch einen Draht zum Quecksilber und zum Stifte *k*, der in dasselbe taucht, von da zur Messingfeder *f g* und zu dem Eisenstücke *a b c d*; von diesem tritt der Strom durch den Draht *n* in die primäre Spirale ein; letztere durchläuft er und kehrt durch *m* und *r* zum zweiten Pole der Batterie zurück. Unter der Einwirkung des Stromes wird das mit dem Eisendrahtbündel in Contact stehende Eisenstück *a b c d* magnetisch, ebenso die Schraube *S*, welche den Eisencylinder *T* anzieht. Durch die Schwingungen der Feder *f g* wird der

Strom unterbrochen und die Feder schnellt wieder zurück. Ein derartiger Unterbrecher wird bei den kleineren Stöhrerschen Apparaten angewendet, bei den grösseren Funkeninductoren von Stöhrer werden die Vibrationen der Feder durch einen besonderen kleineren Elektromagneten bewirkt und unterhalten.

Ein anderer Unterbrechungsapparat wurde von Spottiswoode für Versuche in Geissler'schen Röhren construirt. Derselbe besteht aus einem Messingrade, welches eine Anzahl von radialen Spalten, die mit Ebonit ausgefüllt sind, enthält. Am Umfange desselben schleift eine leichte Platinfeder. Sobald das Rad in Rotation geräth, was entweder mittelst der Hand oder mittelst einer kleinen Dampfmaschine erzielt werden kann, wird ein Strom jedesmal unterbrochen, so oft die Feder an einem Ebonitstreifen angelangt ist. Andere von Spottiswoode angewandte Unterbrecher bestehen aus Federn, welche an einem Ende festgemacht sind und durch einen kleinen Elektromagneten ihrerseits bewegt werden. Bei Anwendung verschiedener Federn konnten in einer Secunde 700 bis 2500 Unterbrechungen gemacht werden.

Gordon hat in seinen berühmten Untersuchungen über specifische Inductions-Capacität einen Interruptor gebraucht, in welchem eine ausserordentliche Unterbrechungs-Geschwindigkeit stattfand. Dieser Unterbrecher besteht aus einer kleinen Elektromagnet-Maschine, deren Schwungrad ungefähr 2 Zoll im Durchmesser hat. Am Umfange des Rades befinden sich 60 Ausschnitte, die mit Ebonit gefüllt sind, und an denselben drückt eine schwache Feder. Der Batteriestrom läuft von der *Batterie* zur Schleiffeder, von dieser zum Rade, zur in-

ducirenden Rolle und von derselben zum zweiten Pole der Batterie zurück. Wenn das Rad in Drehung versetzt wird, so wird der Strom bei jeder Umdrehung 60mal geschlossen und ebenso oft unterbrochen. Als Gordon vier grosse Grove'sche Elemente in Anwendung brachte, drehte sich das Rad 100mal in der Secunde, so dass der inducirende oder primäre Strom 6000mal in jeder Secunde unterbrochen und wieder geschlossen wurde.

Während die zuerst beschriebenen Interruptoren nach dem Principe des Neef'schen oder Wagner'schen Hammers construirt sind, beruhen die letztgenannten Apparate auf dem Principe der Stromunterbrechung mittelst des Blitzrädchens.

Vereinigung der Inductionsrollen.

Schon Foucault hat vier verschiedene Inductionsrollen hintereinander vereinigt und sie durch dieselbe Batterie gespeist und durch denselben Unterbrecher regulirt. Man erhält, wenn die Inductionsspulen nach Spannung miteinander verbunden sind, bei derselben Elektricitätsmenge eine viermal so grosse Potential-Differenz, als bei einer Spule. Verbindet man hingegen die gleichbezeichneten Pole miteinander, d. h. nach Quantität, so bleibt die Potential-Differenz dieselbe, wie bei einer Spule; hingegen ist die gelieferte Elektricitätsmenge das Vierfache jener im letztgenannten Falle erzeugten. Will man eine grossflächige Leydnerflaschen-Batterie schnell laden, so ist die Kuppelung nach Quantität die vortheilhaftere.

Um eine Gleichzeitigkeit der Wirkungen eintreten zu lassen, ist es nicht passend, den Batteriestrom succes-

sive durch die verschiedenen Inductionsrollen gehen zu lassen, sondern es empfiehlt sich, den Strom in vier Zweige zu theilen und jeden dieser Zweigströme in die verschiedenen Spulen zu senden.

In den heute am meisten angewendeten Inductionsrollen mit mehreren Abtheilungen wirkt derselbe inducirende Strom gleichzeitig auf die verschiedenen Inductionsrollen-Abtheilungen, welche nach Spannung aneinandergefügt sind; es wird daher die Potential-Differenz an den Enden des inducirten Drahtes durch diesen Vorgang gesteigert.

Zur Erregung von kleineren Inductionsrollen (30 bis 35 cm Länge) muss man drei oder vier grosse Bunsen'sche Elemente anwenden; für grosse Inductionsrollen ist es nach Ruhmkorff vortheilhaft, eine viermal grössere Elementenoberfläche zu wählen, als für kleine Inductions-Apparate.

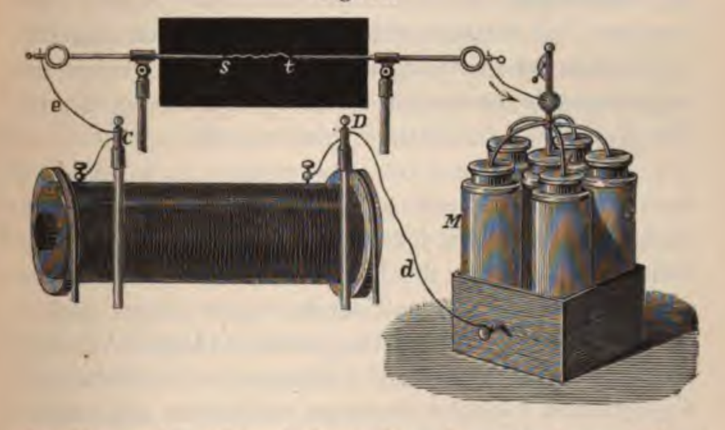
Ladung einer Leydnerflasche mittelst des Funkeninductors.

Die an den Polen des inducirten Drahtes angehäufte Elektricität ist von ausserordentlich grosser Spannung und kann zu allen Versuchen verwendet werden, welche man mit den Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen ausführen kann. Man kann auch mittelst des Inductoriums Leydnerflaschen laden. Diesbezüglich sind jedoch einige Bemerkungen nothwendig.

Die äussere Belegung der Leydnerflaschen-Batterie (Fig. 66) setzt man in leitende Verbindung mit dem einen Pole der secundären Spirale; die innere Belegung der Batterie verbindet man mit dem einen Arme des Entladers, dessen anderer Arm mit dem zweiten Pole der

Inductionsspirale leitend verbunden ist. Man muss nun dafür sorgen, dass die Spitzen des Entladers einander nicht zu nahe sind, denn es wäre sonst eine constante Ladung der Batterie unmöglich. Es würden nämlich in diesem Falle die Schliessungsschläge der inneren Belegung eine Elektricität zuführen, welche jener entgegengesetzt ist, die bei den Oeffnungsschlägen von *s* nach *t* überspringt. Man muss die Arme des Entladers von

Fig. 66.



einander weit entfernt halten, denn dann werden zwischen den Spitzen *s* und *t* nur Oeffnungsfunken überspringen und es wird eine constante Ladung erzielt. Mit einem grossen Funkeninductor kann man eine aus 6 Flaschen bestehende Leydnerflaschen-Batterie von je 30 Quadratdecimeter Belegung fast augenblicklich laden.

Man hat auch mittelst einer Leydnerflaschen-Batterie die von einem Funkeninductor in einer bestimmten Zeit erzeugte Elektricitätsmenge zu bestimmen gesucht. Zu

diesem Zwecke verbindet man die Belegungen der isolirten Batterie mit den Armen eines Entladers, welche um eine gewisse Schlagweite von einander entfernt sind. Gleichzeitig verbindet man die äussere Belegung der Batterie mit dem einen Pole der secundären Rolle, und die Verbindung der inneren Belegung der Batterie mit dem anderen Pole der Inductionsrolle wird durch eine ziemlich grosse Entfernung unterbrochen. Sobald zwischen den Polen der Inductionsrolle ein Funke entsteht, erhält die Batterie ein bestimmtes Elektricitätsquantum; nach Ablauf einer gewissen Zeit entladet sich die Batterie durch den Entlader. Man kann nun leicht die Anzahl der Funken der Inductionsrolle bestimmen, welche nothwendig ist, um eine Entladung der Batterie hervorzurufen.

Aus derartigen Versuchen ergaben sich einige bemerkenswerthe Resultate. So erfuhr man, dass die Elektricitätsmenge, welche jedem der Funken entspricht, rasch geringer wird, wenn die Unterbrechungen des inducirenden Stromes zu rasch aufeinander folgen; ferner gibt es bei gegebener Schlagweite eine bestimmte Unterbrechungs-Geschwindigkeit, welche der grössten in der Zeiteinheit abgegebenen Elektricitätsmenge entspricht; anderntheils gibt es eine Unterbrechungs-Geschwindigkeit, unter der die Funkenanzahl, welche nothwendig wird, um bei gegebener Schlagweite die Entladung der Batterie hervorzurufen, constant ist.

Es ist im Allgemeinen die Funkenanzahl der Capacität der Batterie und der Distanz der Kugeln des Entladers proportional. Wenn man die Entfernung der beiden Spannungspole der Inductionsrolle vergrössert, so wird die Elektricitätsmenge für jeden Funken schnell kleiner.

Zu diesem Resultate gelangte ebenfalls Professor Mascart, wobei er einen grossen Funkeninductor, der von acht Bunsen'schen Elementen gespeist wurde, anwendete. Dieser Inductor konnte zwischen einer Spitze und einer Scheibe in der Luft 37 cm lange Funken geben, wobei die Spitze als positiver Pol, die Scheibe als negativer Pol angewendet wurde. Als Batterie verwendete er eine aus 6 Flaschen bestehende; die Schlagweite der Inductionsrollen-Funken, sowie jene der Batteriefunken wurde in den verschiedenen Experimenten vielfach variirt. Die Interruptionen des inducirenden Stromes wurden mittelst der Hand vollzogen und waren so langsam, dass man das Maximum der Elektricitäts-Erzeugung erreichte. Aus den verschiedenen Beobachtungsreihen ist zu erkennen, dass die zur Erzeugung eines Funkens der Inductionsrolle dienliche Elektricitätsmenge geringer wird, wenn die Potential-Differenz der Batterie grösser wird. Dass der Elektricitätsdebit wächst, wenn die Intensität des inducirenden Stromes bedeutender wird, ist begreiflich; doch darf man in dieser Beziehung nicht zu weit gehen, da wegen der bedeutenden Potential-Unterschiede im Innern des inducirten Drahtes leicht Entladungen stattfinden könnten.

Wirkungen der Funkeninductoren.

Wir wollen im Nachfolgenden die Wirkungen der Inductionsströme, wie sie von Funkeninductoren erzeugt werden, in aller Kürze beschreiben, da dies in den vorhergehenden Bänden dieser Bibliothek nicht geschehen ist; eine detaillirtere Darstellung und Erörterung der hierher gehörigen Phänomene würde die Grenzen dieses Buches weit überschreiten.

Der Inductionsstrom dieser Apparate zeigt physiologische, Wärme-, chemische, mechanische und Lichteffecte.

Die physiologischen Effecte der Inductoren sind so bedeutend, dass man bei der Handhabung eines grösseren Funkeninductors die grösstmögliche Sorgfalt anwenden muss, um keinen Schaden zu erleiden. Die Anwendung zweier Bunsen'schen Elemente in der inducirenden Spirale in einem mittelgrossen Apparate reicht hin, um auch grössere Thiere, z. B. Kaninchen, zu tödten.

Was die calorischen Wirkungen betrifft, so kann man sie nachweisen, wenn man zwischen den Enden des inducirten Drahtes etwa einen sehr feinen Eisendraht spannt; derselbe wird geschmolzen und zersplittert unter sehr lebhafter Lichterscheinung. Lässt man jeden der Pole des Inductionsdrahtes in einen sehr feinen Eisen draht ausgehen und bringt diese Eisendrähte in Contact, so schmilzt nur jener, welcher mit dem negativen Pole verbunden ist, wodurch der Beweis hergestellt wird, dass die elektrische Dichte am negativen Pole bedeutender als am positiven ist.

Die chemischen Wirkungen des Inductionsstromes offenbaren sich in der Wasserzersetzung, der Zersetzung von Jodkalium u. dgl. Um polare Erscheinungen zu erhalten, muss die Leitung der Inductionsrolle an irgend einer Stelle unterbrochen werden, damit nur der Oeffnungsstrom den Elektrolyten durchwandere. Ist dies nicht der Fall, dann treten z. B. bei der Wasserzersetzung an beiden Polen die Ionen auf; feuchtes Jodkaliumpapier mit den Elektroden in Berührung gebracht, zeigt an beiden blaue Flecke. Meist werden die chemischen Er-

scheinungen durch die Wärme- und mechanischen Effecte complicirt.

Von besonderem Interesse sind die Lichteffecte. Dieselben sind verschieden, je nachdem man die Entladung durch Gase von gewöhnlichem Drucke oder sehr verdünnte Gase oder Dämpfe von sehr geringer Spannung stattfinden lässt.

Im ersteren Falle bemerkt man, dass der eigentliche Funke, eine von einem Pole zum anderen reichende helle Lichtlinie, von einer breiteren Lichthülle, der Aureole, umgeben ist, welche am positiven Pole mit röthlichem, am negativen Pole mit bläulichem Lichte leuchtet, welche beide Theile durch einen dunklen Raum von einander geschieden sind. Während aus der Farbe des eigentlichen Funkens zu entnehmen ist, dass derselbe von der materiellen Beschaffenheit der Elektroden, zwischen denen er überspringt, abhängt, zeigt die Beschaffenheit der Aureole, dass sie ihr Dasein dem durchbrochenen ins Glühen versetzten Gase verdankt; die Aureole entsteht später und dauert länger als der Funke und lässt sich von letzterem wegblasen. Die Aureole hat zündende Wirkung, der Funke hauptsächlich mechanische Wirkung (Versuch mit einem Papierstücke, das mit Terpentinöl getränkt ist).

In sehr verdünntem Gase (z. B. in einem elektrischen Ei) wird die Aureole immer grösser und grösser, und es hört bei fortgesetzter Evacuation der eigentliche Funke ganz auf. Der positive Pol zeigt eine besonders lebhafte Lichterscheinung; derselbe besitzt rothes intensives Licht, während der negative Pol schwach und in violettem Lichte leuchtet; dieses letztere erstreckt sich über die

ganze negative Elektrode, was am positiven Pole nicht stattfindet.

Schon mit dem elektrischen Ei kann man eine sehr interessante Beobachtung vornehmen. Bringt man nämlich in dasselbe einige Tropfen Terpentinöl, Holzgeist, Alkohol oder Schwefelkohlenstoff, so erscheint das Licht geschichtet, indem alternirend helle und dunkle Zonen aufeinanderfolgen; diese Schichtung tritt besonders am positiven Pole deutlich auf, erstreckt sich aber nahe bis an den negativen Pol der Inductionsspule. Die einzelnen leuchtenden und dunklen Zonen scheinen eine doppelte Bewegung, eine undulatorische und eine Wirbelbewegung zu besitzen.

Insbesondere dann erscheinen die Streifen sehr scharf und haben eine feste Lage, wenn man den Unterbrechungs-Apparat in langsame Oscillationen versetzt. Die Streifung des Lichtes wird auch in dem Falle wahrgenommen, wenn man die Lichterscheinung nur momentan durch eine einzige Interruption des Hauptstromes hervorbringt.

Bemerkt sei an dieser Stelle, dass die mittelst eines discontinuirlichen Stromes hervorgerufenen Phänomene auch dann entstehen, wenn man einen continuirlichen Strom anwendet; nur erfordert der letztere eine beträchtliche Anzahl z. B. von Bunsen'schen Elementen, während der discontinuirliche Strom der Ruhmkorff'schen Spirale eine kleine Anzahl Elemente erheischt und eine Vervielfältigung der Elemente die Lichteffecte kaum verstärkt. Diesbezügliche Versuche wurden von Desprez angestellt.

Die Lichterscheinungen, welche man mittelst des Funkeninductors hervorrufen kann, treten in der That

bei jeder Interruption des inducirenden Stromes stossweise auf, wie man leicht erkennen kann, wenn man z. B. die Hand in der Nähe des von der Elektricität durchströmten elektrischen Eies hin- und herbewegt; man glaubt dann die Hand vielfach zu sehen.

Ganz besonders deutlich treten die Lichterscheinungen des Inductionsfunkens in den von dem kürzlich verstorbenen Mechaniker Geissler in Bonn construirten, nach ihm benannten Röhren auf, welche auch schon von Gassiot, der diese Phänomene eingehend studirte, benützt wurden. In diese Röhren werden verschiedene Gase oder Dämpfe eingeführt und mittelst einer Quecksilber-Luftpumpe der Raum ungefähr auf $^1/_2$ mm Quecksilberdruck evacuirt. An den beiden Enden der Röhren befinden sich 2 Platindrähte in dieselben eingeschmolzen, die bis auf 1 oder 2 cm in diese hineinragen. Sobald man diese beiden Drähte mit den Polen der Ruhmkorff'schen Spirale verbindet, zeigen sich in der ganzen Länge der Röhre prächtige Lichteffecte, helle Zonen, die durch dunkle Streifen von einander geschieden sind. Diese hellen Zonen variiren mit dem Grade der Verdünnung, der Natur des eingeschlossenen Gases oder Dampfes und den Dimensionen der Röhre an Gestalt, Farbe und Intensität. Das violette Glühlicht erscheint am negativen Pole, die Schichtung tritt wieder am positiven Pole deutlich hervor.

In Geissler'schen Röhren, die mit Wasserstoff gefüllt sind, ist das Licht in den weiteren Theilen der Röhre blassroth, in den Capillarröhren hingegen intensiv roth. — Auch die Intensität des Stromes hat auf die Farbe des glühenden Gases in den Geissler'schen Röhren beträchtlichen Einfluss. So wird bei Anwendung einer Wasser-

stoff enthaltenden Röhre bei schwächer werdendem Strome der Lichtschein schwächer und mehr orangeroth.

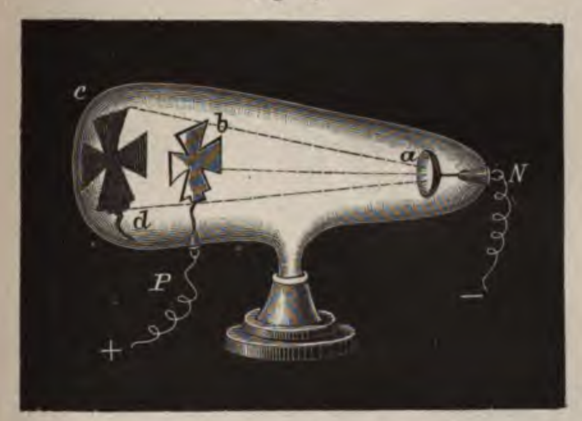
Manche Glassorten zeigen beim Durchgange der elektrischen Entladung eine schöne Fluorescenz, welche im Vereine mit dem Lichtschimmer des durchströmten Gases einen netten Anblick bietet.

Wenn man den Inductionsstrom längere Zeit hindurch in derselben Richtung durch eine Geissler'sche Röhre leitet, so findet man die Stellen der Glaswand, welche der negativen Elektrode am nächsten stehen, mit einem metallischen Anfluge bedeckt. Die negative Elektrode erscheint selbst aufgerissen. Unzweifelhaft entsteht der metallische Anflug durch abgerissene Elektrodentheilchen, welche in sehr fein vertheiltem Zustande vorhanden sind. Gewisse Metalle, z. B. Aluminium, scheinen in dieser Beziehung widerstandsfähiger zu sein.

Eigenthümlich sind die Phänomene, welche der Inductionsfunke in sehr stark verdünnten Gasen hervorruft; diese Erscheinungen hat bereits Hittorf (1869) beobachtet; eingehend studirt wurden sie von Crookes und dem österreichischen Physiker Puluj. Es kann hier nicht der Platz sein, auf die diesbezüglichen Versuche und Beobachtungen ausführlich einzugehen; der sich für dieselben interessirende Leser sei auf die Schriften Crookes' über die »strahlende Materie« und jene Puluj's über die »Elektroden-Materie« verwiesen. Es soll hier nur Folgendes erwähnt werden: In ausserordentlich verdünnten Gasen breitet sich das an der negativen Elektrode erscheinende bläuliche Glimmlicht immer weiter aus und kann sich über die ganze Röhre verbreiten. An jenen Stellen, an welchen von dem Glimmlichte die Glaswände

getroffen werden, zeigen sich die letzteren lebhaft fluorescirend, was auf eine bedeutende moleculare Erregung hinweist. Während sonst der Inductionsfunke Biegungen der Röhren durchsetzt, breitet sich das negative Glimmlicht in hochverdünnten Räumen geradlinig aus, und jeder in dasselbe gestellte Körper hemmt den Fortgang des Glimmlichtes, so dass der Körper auf der entgegen-

Fig. 67.



stehenden Glaswand einen Schatten wirft. Das zeigt die beistehende Figur 67, welche der Crookes'schen Abhandlung entnommen ist. *b* bedeutet ein Aluminiumkreuz, welches mit dem positiven Pole der Inductionsspirale leitend verbunden ist.

Die geradlinige Fortpflanzung des negativen Glimmlichtes wird unter Anderem durch einen von Crookes angegebenen Apparat demonstrirt. Es wird (Fig. 68) ein Glasballon angewendet, in welchem die positiven Elektroden drei Platinspitzen *b*, *c* und *d* sind; die negative

Elektrode stellt einen Aluminium-Hohlspiegel *a* vor. Hat man die Verdünnung noch nicht weiter als bis 2 mm Quecksilberdruck ausgeführt, so erstreckt sich das Licht in krummen Bahnen von *a* gegen *b*, *c* und *d*; wird aber

Fig. 68.



der Raum ausserordentlich evacuirt, so schiessen aus dem Hohlspiegel gerade Lichtstrahlen aus, die sich im Brennpunkte des Spiegels durchkreuzen und auf die gegenüberliegende Wandfläche erstrecken, welche sie zur Fluorescenz erregen.

Die Strahlen des Glimmlichtes haben im hohen Grade calorische Kraft, und es ist Crookes gelungen, das so schwer schmelzbare Iridiumplatinmetall zum Schmelzen zu bringen, wenn er dasselbe in den Focus eines Aluminium-Hohlspiegels brachte, der als negative Elektrode diente. Auch mechanische Effecte ruft das Glimmlicht hervor; so kann ein leicht drehbares Glimmerrädchen, welches von dem Glimmlichte getroffen wird, in rasche Drehung versetzt werden. Das Studium des sogenannten »elektrischen Radiometers« wurde besonders von Puluj gepflegt.

Nun noch einige Worte über die Erklärung dieser interessanten und prächtigen Erscheinungen.

Um die Erscheinungen in hochverdünnten Gasen zu erklären, nimmt Crookes an, dass das zurückgebliebene Gas sich in einem eigenthümlichen ultragasigen Zustande befinde, den er den vierten Aggregatzustand nennt und kurzweg als strahlende Materie — ein Ausdruck, der bereits von dem berühmten Physiker Faraday gebraucht wurde — charakterisirt. Nach Crookes würden sehr kleine untheilbare Theilchen, in welche das Gas im höchsten Grade der Verdünnung — Crookes will eine solche bis ein Milliontel Atmosphärendruck erzielt haben — aufgelöst wird, die strahlende Materie ausmachen. Bei der erreichten ausserordentlichen Verdünnung soll die mittlere Entfernung, welche ein Molecül durchlaufen kann, ehe es ein anderes trifft, so gross werden, dass sich die physikalischen Eigenschaften des Gases gänzlich verändern. Es wäre daher möglich, dass die Ueberfuhr der Elektricität allein oder doch wenigstens vorwiegend durch die von der negativen Elektrode weggeschleuderten Gas-

molecüle zu Stande kommt. Zu bemerken wäre, dass bei geringen Druckverhältnissen des Gases das Ausfliessen der Elektricität an der negativen Elektrode früher beginnt, als an der positiven.

Diesen Ansichten von Crookes sind mehrere Physiker entgegengetreten. Ein Zerfallen in Uratome, also der Uebergang in einen Zustand, der von dem gasigen weit entfernt ist, erfordert viel mächtigere Energiequellen, als jene es sind, über die wir bis jetzt verfügen. Uebrigens ist für die Erscheinungen in hochverdünnten Räumen kein so hoher Verdünnungsgrad nothwendig, wie er von Crookes angegeben wird. Ein mässiger Strom (2 cm Funkenlänge) geht z. B. bei $^1/_{100}$ mm Quecksilberdruck nicht mehr durch die Röhre.

Ganz ungezwungen lassen sich alle diesbezüglichen Erscheinungen erklären, wenn man mit Puluj annimmt, dass von der negativen Elektrode Theilchen losgerissen werden, welche mit statischer negativer Elektricität geladen sind und mit enormer Geschwindigkeit geradlinig sich progressiv fortbewegen. Es ist also nach Puluj strahlende Elektrodenmaterie, welche die Phänomene, von denen wir oben einige erörterten, veranlasst. Die negativ geladenen Theilchen behalten ihre Geschwindigkeit so lange bei, bis ihnen ein Hinderniss in den Weg gestellt wird. Es findet die Elektricitätsleitung nicht in Form eines elektrischen Stromes, sondern durch die mechanische Fortführung mittelst der negativ elektrischen Körpertheilchen statt.

Die Erscheinungen der Phosphorescenz und Fluorescenz werden nach dieser Hypothese dadurch erklärt, dass die lebendige Kraft, welche den bewegten Elek-

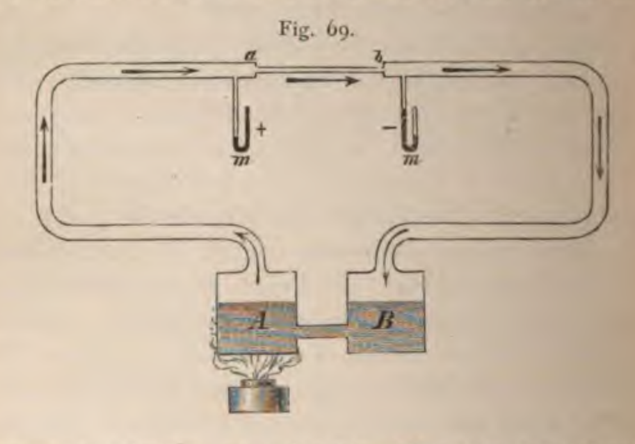
trodentheilchen innewohnt, transformirt, d. h. in andere Energieformen verwandelt wird.

Ein sicherer Beweis dafür, dass der elektrische Strom in hochverdünnten Gasen durch Fortführung elektrischer Theilchen entsteht, ist durch die Erscheinung erbracht, dass zwei Ströme strahlender Elektrodenmaterie eine Abstossung auf einander ausüben, was in dem Falle, als wir es hier mit gewöhnlichen elektrischen Strömen zu thun hätten, nicht stattfinden könnte.

Man hat mehrfach die Ansicht ausgesprochen, dass der elektrische Strom ein wirkliches Fliessen einer sehr feinen, alle Körper durchdringenden Materie des Aethers sei. Die Aethertheorie der Elektricität wurde von mehreren namhaften Physikern, so von Angelo Secchi in seinem Buche (»Die Einheit der Naturkräfte«), Edlund u. A. überzeugend ausgesprochen und die Consequenzen aus derselben deducirt. In Folge der Aetherströmung werden auch Elektrodentheilchen mitgerissen, wie wir es aus den Crookes'schen Experimenten ersehen. Für den ersten Augenblick scheint die bekannte Erscheinung, dass in einer elektrischen Lampe Kohlentheilchen von der positiven Elektrode zur negativen überführt werden, mit den Phänomenen in hochverdünnten Gasen, in welchen ein Transport von Elektrodentheilchen im entgegengesetzten Sinne statthat, im Widerspruche zu stehen. Aber auch diese Erscheinungen lassen sich leicht in Einklang bringen, wenn man annimmt, dass die Elektricität eine Aetherströmung ist und wenn man den bedeutenden Unterschied in den Widerständen berücksichtigt, welche das zwischen den Elektroden befindliche Gas in beiden Fällen dem Elektricitäts-Uebergange entgegensetzt.

Puluj hat sich bei der Erklärung dieser Ercheinungen auf folgenden sehr leicht zu verstehenden Versuch gestützt: Denken wir uns zwei mit einander verbundene Röhren *a* und *b* (Fig. 69), welche von Dampf durchströmt werden, der in *A* erzeugt und überhitzt wird, in *B* eine Condensation erfährt. Die beiden Röhren sind durch ein Capillarrohr mit einander in Verbindung gesetzt und es sind an den Stellen *a* und *b* Manometer an die Röhren

Fig. 69.



angesetzt. Strömt nun der Dampf in der gezeichneten Richtung durch das Röhrensystem, so ist begreiflich, dass an der Stelle *a*, also beim Uebergange der weiteren Röhre in die Capillarröhre, ein Stauen, somit ein Dampfüberschuss eintreten wird. An der Stelle *b*, an welcher der Dampf vom engen Rohre in das weitere übertritt, findet eine Verdünnung des Dampfes statt. Hätte man aber statt des Capillarrohres ein Rohr mit den beiden seitlichen Röhren in Verbindung gesetzt, welches einen *grösseren* Querschnitt als diese besitzt, so hätten die

Manometer einen entgegengesetzten Gang der Erscheinung angezeigt: in *a* tritt in diesem Falle Dampfverdünnung, in *b* Dampfstauung ein.

Ganz analoge Verhältnisse treten ein, wenn ein Leiter von Elektricität, d. h. von einem Aetherstrome durchflossen wird. Ein Stauen des Aethers an einer Stelle, also ein Ueberschuss desselben an dieser Stelle, entspricht, wenn wir an der Franklin'schen Hypothese festhalten, einer freien positiven Spannung; eine Aetherverdünnung, d. h. ein Mangel desselben an einer bestimmten Stelle, gibt sich an dieser als freie negative Spannung kund. Befindet sich zwischen den beiden Leiterenden *a* und *b* Luft unter gewöhnlichem Drucke, also von grossem elektrischen Widerstande, wie es bei der elektrischen Lampe der Fall ist, so circulirt der Aetherstrom von der positiven Stelle *a* gegen die negative *b* und führt in diesem Sinne Elektrodentheilchen von der positiven Elektrode gegen die negative, ebenso wie ein Luftstrom, der durch eine Röhre geschickt wird, z. B. Staubtheilchen in derselben Richtung mitführen wird. Ist aber der zwischen den Leiterenden *a* und *b* befindliche Widerstand klein, was in Geissler'schen Röhren, in denen die Verdünnung sehr weit getrieben ist, stattfindet, dann fliesst der Aetherstrom wieder von der Stelle *a*, welche die negative Elektrode jetzt vorstellt, zur positiven Elektrode *b*, und es werden jetzt negative Elektrodentheilchen im Sinne des Stromes mitgeführt.

Die positive freie Spannung an der einen Stelle, die negative freie Spannung an der anderen Stelle sind auch elektrometrisch beobachtet worden, ebenso eine indifferente zwischen den ebengenannten liegende, welche gegen

andere Körper weder positiv noch negativ elektrisch sich erweist. Solche indifferente Stellen dürften auch in einer Geissler'schen Röhre an mehreren Punkten vorkommen; wahrscheinlich sind alle dunklen Stellen im positiven Lichtbüschel Schichten von der Spannung Null. Die Entstehung dieser Schichten kann durch die intermittirenden Entladungen und die durch dieselben bewirkten Verdichtungen und Verdünnungen des Gases in der Röhre erklärt werden. An den Stellen, an welchen sich das verdünnte Gas befindet, ist der Widerstand geringer, als an jenen, an welchen eine Gasverdichtung stattfindet; deshalb werden entsprechend den obigen Auseinandersetzungen an den Ein- und Austrittsstellen in die Verdichtungen alternirend positive und negative Spannungen entstehen. An der Stelle der grössten Verdichtung wird positive, an der Stelle der grössten Verdünnung negative freie Spannung entstehen und dazwischen werden die Orte mit der Spannung Null sich befinden.

Diese wenigen Andeutungen über die Theorie der Phänomene in hochverdünnten Gasen mögen genügen, um ein Bild derselben zu geben.

Erwähnenswerth ist noch der Umstand, dass auf das in den Geissler'schen Röhren entstandene Licht Magnete in derselben Weise wirken, wie auf bewegliche Stromleiter im Allgemeinen. Es können, wie schon von Delarive gezeigt wurde, die im evacuirten Raume übergehenden Lichtfäden um einen Magnetpol so rotiren, wie man dieselbe Erscheinung am Davy'schen Lichtbogen oder einem anderen beweglichen Leiter beobachtet.

Sehr schön sind die Erscheinungen, welche das in *hochverdünnten* Räumen erzeugte Glimmlicht Magneten

gegenüber zeigt. Es lassen sich, wie Puluj in seiner akademischen Schrift: »Strahlende Elektrodenmaterie« ausführlich darlegte, alle Wechselwirkungen zwischen dem Magnete und einem Strome Elektrodenmaterie erklären und voraussagen, wenn man die Gesetze der elektrischen Convection der Molecüle mit der Ampère'schen Regel combinirt. Es kann nämlich jedes mit statischer Elektricität geladene Elektrodentheilchen, das sich in fortschreitender Bewegung befindet, in seinem Verhalten gegen einen Magnetpol so betrachtet werden, wie ein mit der Bewegungsrichtung positiv geladener Theilchen gleichgerichteter, oder der Bewegungsrichtung negativ geladener Theilchen entgegengesetzt fliessender positiver elektrischer Strom. Es stellt in Wirklichkeit ein jedes eine gewisse Strecke durchsetzendes Theilchen einen Elementarstrom vor. Wir haben nun oben gesehen, dass die negativ geladenen Elektrodentheilchen sich von der negativen gegen die positive Elektrode bewegen, und es ist daher die Wirkung eines solchen Stromes von Elektrodentheilchen auf einen Magnetpol dieselbe, wie jene eines positiven galvanischen Stromes, der vom positiven gegen den negativen Pol abfliesst. Alle jene Erscheinungen, welche von Hittorf, Plücker, Reitlinger und anderen Physikern beobachtet wurden, ergeben sich unter der Annahme der eben gemachten Hypothese sehr einfach.

III.
Fernere Generatoren hochgespannter Elektricität.

Die im Vorigen angegebenen Apparate, die Reibungs- und Influenz-Elektrisirmaschinen, der Ruhmkorff'sche Funkeninductor, sind die vorzüglichsten und am meisten angewandten Mittel, um auf zwei Conductoren eine bedeutende Potential-Differenz herzustellen. Ausser diesen Apparaten hat man noch die Gramme'sche Maschine mit Wechselströmen so modificirt, dass sie Ströme liefert, welche jenen einer Ruhmkorff'schen Spirale gleichwerthig sind, d. h. mit einer hohen Spannung auch bedeutende Elektricitäts-Quantitäten vereinigen. Doch wollen wir auf diese untergeordnete Anwendung der Gramme'schen Wechselstrommaschine nicht näher eingehen, und wir bemerken nur, dass Jamin und Maneuvrier im Jahre 1881 mit einer derartigen modificirten Maschine alle Wirkungen eines Funkeninductors hervorriefen, aber mit einer unvergleichlich grösseren Intensität. Die Lichteffecte im luftleeren Raume oder in verdünnten Gasen sind von einer bemerkenswerthen Schönheit. Die physiologischen Effecte sind ebenfalls von enormer Intensität. Jedenfalls sind diese Versuche, durch welche dargethan ist, dass man auch mittelst der Gramme'schen Maschinen Elektricität von sehr starker Spannung erzeugen kann, bemerkenswerth, und es ist wohl anzunehmen, dass weitere diesbezügliche Studien in nächster Zeit gemacht werden.

Accumulatoren. Rheostatische Maschine.

Wir haben noch einiger Generatoren hochgespannter Elektricität zu gedenken, deren Constructionsprincip von dem französischen Physiker Gaston Planté vor einiger Zeit angegeben wurde. In der von ihm construirten »rheostatischen Maschine« besitzt man ein Mittel, um ausserordentlich grosse Potential-Differenzen auf zwei Conductoren herzustellen. Es werden in dieser Maschine Ströme von schwacher Potential-Differenz (also Volta'sche Ströme) in solche von bedeutender Spannung transformirt, was übrigens auch beim Funkeninductor von Ruhmkorff der Fall ist.

Zum Verständniss der Construction, Ladungs- und Wirkungsweise der rheostatischen Maschine von Planté erweist es sich als nothwendig, etwas tiefer auf die früheren Forschungen dieses Physikers zurückzugehen. Bekanntlich war Planté der Erste, welcher eine sogenannte Secundärbatterie construirte, die eine praktische Verwerthung möglich machte und in der, wie in jeder Secundärbatterie, man von dem Polarisationsstrome, der durch einen primären Strom erregt wird, Gebrauch macht.

Planté wendet in einer Zersetzungszelle, die mit Schwefelsäurehydrat gefüllt ist, als Elektroden zwei Bleiplatten an. Wird durch dieses Elektrodenpaar und die zwischenliegende Flüssigkeit ein Strom von zwei Bunsen'schen Elementen, der vollkommen genügend ist, gesendet, so tritt eine Zerlegung des Schwefelsäurehydrates ein; an der Kathode bildet sich freier Wasserstoff, an der Anode hingegen eine Schicht von Bleisuperoxyd. Da in der Regel durch das Stehen an der Luft die Bleiplatten oxydirt sind, so wird die Kathode durch den

Wasserstoff zu reinem Blei reducirt. Verbindet man nun die durch diese chemischen Processe modificirten Elektroden metallisch mit einander, so entsteht ein Polarisationsstrom oder ein Secundärstrom von ungefähr 1·9 Volt. Es tritt durch diesen Strom ein neuerliches Zerlegen der Schwefelsäure ein; an der mit Bleisuperoxyd überzogenen Platte bildet sich Wasserstoffgas, an der reinen Bleiplatte hingegen Sauerstoff; die beiden Bleiplatten werden nach kurzer Zeit mit Bleioxyd überzogen und sind dann gegen einander elektrisch indifferent, weshalb der Secundärstrom aufhört. Von der Quantität des gebildeten Bleisuperoxydes hängt die Ladung des Secundärelementes oder Accumulators ab, d. h. von der Intensität und der Dauer des primären Stromes. Die Maximalladung des Accumulators, welche man meist mit dem Namen »Capacität« desselben bezeichnet, ist von dem Gewichte des Bleies abhängig und wächst mit demselben.

Zur Verkleinerung des Elementenwiderstandes hat Planté die Oberflächen der Bleielektroden gross gemacht (in den Versuchen Planté's war dieselbe $^1/_2$ Quadratmeter); dann wird auch die Bildung des Bleisuperoxydes beschleunigt, d. h. die Ladungszeit verringert. Zwei derartige Bleiplatten werden durch zwei etwa 0·5 cm dicke und wenig breite Kautschukstreifen von einander getrennt und dann spiralförmig auf einander gewickelt. Die beiden Elektroden werden durch ein oben angebrachtes kreuzförmiges Hartgummistück zusammengehalten. Von den Bleielektroden gehen noch Bleistreifen aus, die als Pole fungiren.

Im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen hat Planté gefunden, dass ein Accumulator seiner Construction, um recht wirksam zu sein, vorbereitet werden müsse.

Damit nämlich der Sauerstoff recht tief in das Blei eindringe und so viel als möglich Bleisuperoxyd gebildet werde, muss das Element viele Male hinter einander geladen und entladen werden. Dann zeigte sich das Element besonders wirksam, wenn die alternirenden Ladungen im entgegengesetzten Sinne vorgenommen wurden; das bei einer Ladung entstandene Bleisuperoxyd wird nämlich durch die nachfolgende entgegengesetzte Ladung in körniges und poröses Blei verwandelt, welches den Sauerstoff leichter eindringen lässt. Es reicht ein einmaliges nicht langes Laden des Secundärelementes mittelst zweier Bunsen'schen Elemente hin, um das Maximum der Wirkung zu erreichen, und es kann ein derartiges gut vorbereitetes und geladenes Element von Planté nach zwei oder drei Wochen einen Bleidraht von $^1/_2$ mm Durchmesser in Rothglühhitze versetzen. Das an der positiven Elektrode eines geladenen Elementes gebildete Bleisuperoxyd wird oberflächlich in Bleisulfat verwandelt, welches einen schützenden Ueberzug bildet, indem es die weitere Zersetzung des Bleisuperoxydes verhindert. Wegen dieser vortheilhaften Wirkung der Schwefelsäure auf das Blei und dessen Oxyd wählt man immer diese Combination bei der Construction von Secundärelementen.

An dem Planté'schen Accumulator ist wohl der misslichste Uebelstand jener, dass die Vorbereitung desselben lange Zeit und viel Sorgfalt erheischt. Es sind deshalb im Laufe der Zeit mehrere Accumulatoren construirt worden, bei denen man einerseits die Vorbereitungszeit abkürzte, andererseits die Capacität eines Elementes bei demselben Gewichte beträchtlich steigerte. Es ist

hier nicht der Platz, auf diese Modificationen des Planté'schen Accumulators einzugehen, und wir verweisen in dieser Beziehung den Leser auf den vierten Band dieser Bibliothek.

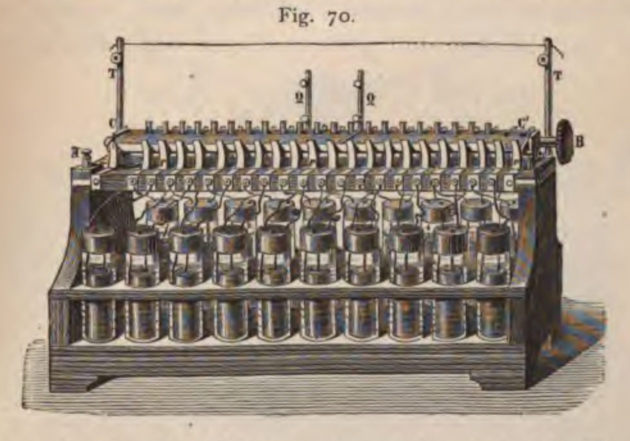
Man kann secundäre Elemente entweder nebeneinander (nach Quantität) oder hintereinander (nach Spannung) combiniren. Die Accumulatoren erweisen sich dann besonders vortheilhaft, wenn es sich darum handelt, Elektricität von geringer Spannung in solche von bedeutender Spannung zu verwandeln. Selbstverständlich kann man an Gesammtenergie nichts gewinnen, im Gegentheile hat schon Planté gezeigt, dass das Verhältniss der bei der Entladung eines Accumulators zurückerstatteten Arbeit zur aufgewendeten elektrischen Arbeit während der Ladung ungefähr 0·88 ist; es kann nur durch den Accumulator eine andere Vertheilung der Gesammtenergie erzielt werden. Bei grösserem Potentiale wird die abfliessende Elektricitätsmenge geringer, und umgekehrt.

Laden wir z. B. durch zwei Bunsen'sche Elemente die Accumulatoren, die nebeneinander combinirt sind, also so, dass die inneren Bleiplatten miteinander und ebenso die äusseren Platten miteinander verbunden sind, so werden die gut vorbereiteten Accumulatoren bald ihre Maximalladung erreichen. Schaltet man nach der Ladung die Elemente hintereinander, so summiren sich die elektromotorischen Kräfte, d. i. die Potential-Differenzen der einzelnen Elemente, und der schwach gespannte Strom der beiden Bunsen'schen Elemente ist in einen Strom von starker Spannung verwandelt. Es können mittelst einer Secundärbatterie Resultate erzielt werden, welche mit den beiden Bunsen'schen Elementen, die zur Ladung der Batterie dienten, unerreichbar sind. Wollte man

z. B. solche Spannungseffecte erzeugen, wie sie die Secundärbatterie liefert, so müsste man viele Bunsen'sche Elemente hintereinander schalten, was abgesehen von den Erhaltungskosten vieler solcher Elemente noch die grosse Misslichkeit mit sich bringt, dass die Zusammenstellung und das Auseinandernehmen einer solchen Batterie lästig und zeitraubend ist.

In sinnreicher Weise hat Planté eine Vorrichtung

Fig. 70.

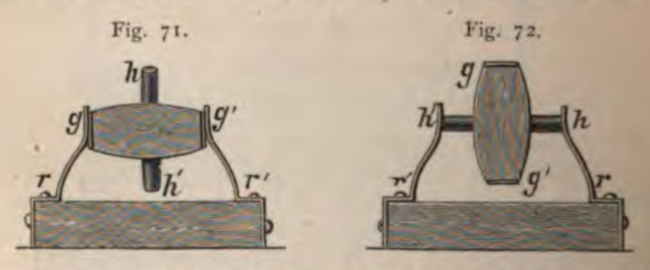


construirt, durch welche es ermöglicht wird, die Transformation niedergespannter Elektricität in hochgespannte Elektricität vorzunehmen. Die Pole aller zusammenzufügenden Accumulatoren laufen (Fig. 70) in Federn aus, welche einander gegenüberstehen. Es stehen somit alle Elektroden von den oxydirten Bleiplatten in einer Reihe und alle Elektroden der reinen Bleiplatten in einer zweiten der ersten parallelen Reihe. Ein Holzcylinder kann mittelst einer Kurbel gedreht werden; er ist auf zwei um 180° von einander abstehenden Stellen mit Metallstreifen ver-

sehen, welche der Axe des Cylinders parallel laufen, so dass, wenn diese Metallstreifen mit den beiden Reihen von Federn, welche von den Accumulatorenpolen ausgehen, in Berührung kommen, alle Elemente neben einander eingeschaltet sind.

Es ist die Stellung des Holzcylinders in diesem Falle durch Fig. 71 dargestellt. Der Commutator-Cylinder ist aber senkrecht zur Axe an ebenso vielen Stellen, als Accumulator-Elemente vorhanden sind, welche von den Metallstreifen um 90° abstehen, von Metallstäben

Fig. 71. Fig. 72.



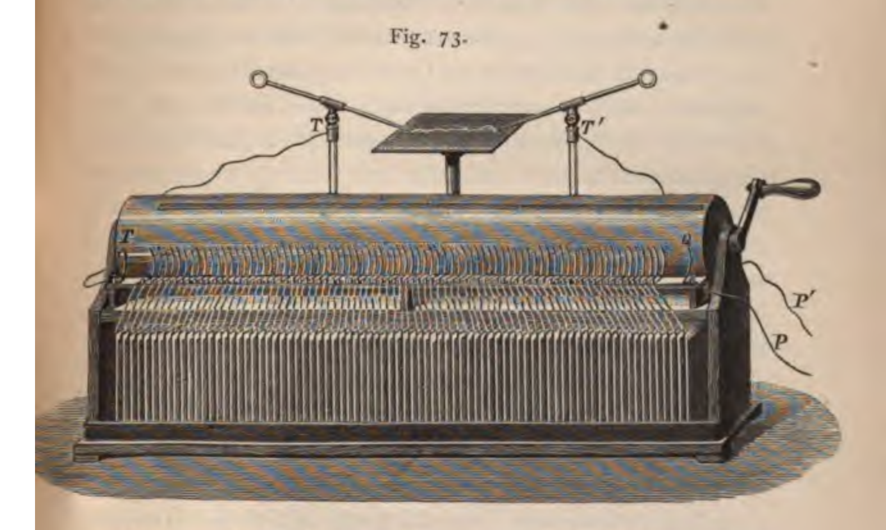
durchsetzt. Dreht man nun den Holzcylinder um 90°, so werden die Elemente hintereinander eingeschaltet; denn dann werden die ungleichnamigen Accumulatorpole durch die transversalen Stäbe in Verbindung gesetzt; die Stellung des Cylinders in diesem Falle zeigt die Figur 72.

Beim Laden der Secundärbatterie gibt man dem Cylinder die erste Stellung; sobald die Ladung der Batterie vollzogen ist, schaltet man durch eine Drehung des Commutators die Secundärelemente nach Spannung; man erhält dann eine so vielmal grössere Potential-Differenz, wie bei einem Accumulator-Elemente, als deren vorhanden sind. Wenn z. B. der primäre Strom jener *von zwei* Bunsen'schen Elementen war, so wird der

secundäre Strom jenem von 30 Bunsen'schen Elementen gleichkommen, wenn man 20 Accumulator-Elemente zu einer Secundärbatterie vereinigt.

Mittelst des Stromes einer Secundärbatterie konnte Planté sehr bedeutende elektrische Wirkungen in einfacher Weise hervorrufen; die von einem solchen Strome erzeugten magnetischen Wirkungen waren bedeutend

Fig. 73.



kräftiger, als jene der Primärströme. Bei Anwendung einer Secundärbatterie von 200 Elementen konnte ein 10 m langer Platindraht, der 0·3—0·4 mm im Durchmesser hatte, bis zur Rothglühhitze gebracht werden. Mit einer Secundärbatterie von 800 Elementen wurde eine Vacuumröhre von grossem Widerstande $3^1/_2$ Stunden und auch darüber erleuchtet; in der Entladung bemerkte man eine schöne Schichtung. Von anderen bemerkens-

werthen Effecten dynamischer Elektricität im Zustande hoher Spannung wird weiter unten die Rede sein.

Rheostatische Maschine.

Zur Erzielung noch grösserer Potential-Differenzen hat Planté im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen die rheostatische Maschine construirt. Dieselbe (Fig. 73) besteht aus einer grossen Anzahl von Condensatoren, die aus Glimmerplatten (0·18 m lang und 0·14 m breit) bestehen, welche beiderseits mit Stanniol überkleidet sind. Eine der oben beschriebenen zum Laden und Entladen der Secundärbatterie ähnliche Vorrichtung gestattet, die Condensatoren nebeneinander zu laden und hintereinander zu entladen. Bei einer Maschine von 80 Condensatoren war der Commutations-Cylinder 1 m lang und hatte einen Durchmesser von 15 cm; eine solche Maschine konnte Funken von 12 cm Länge liefern. Zur Ladung der rheostatischen Maschine bediente sich Planté einer Secundärbatterie von 600—800 Elementen. Alle Theile der Maschine müssen wegen der grossen auftretenden elektrischen Spannungen wohl von einander isolirt sein.

Aus mehrfachen Versuchen ergab sich das Resultat, dass die Funkenlänge der Anzahl der Condensatoren proportionirt ist, ferner dass die Funkenlänge schneller wächst als die Anzahl der Elemente in der ladenden Batterie; ein diesbezügliches Gesetz konnte jedoch von Planté nicht ermittelt werden. Sehr lange Entladungsfunken entstanden, wenn man dieselben durch Metall-Drehspäne gehen liess; in diesem Falle konnte man 70 cm lange Funken erzielen.

Effecte der rheostatischen Maschine.

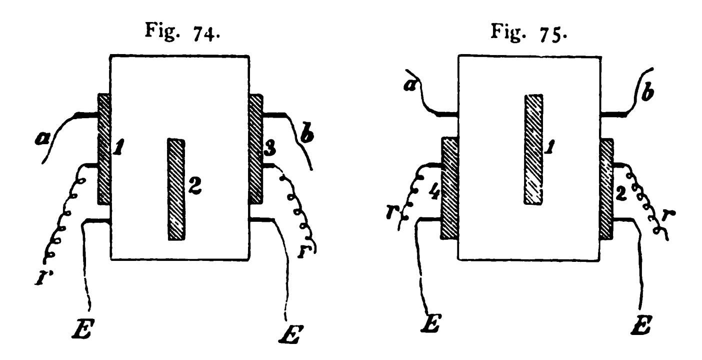
Mehrere von Planté angestellte Versuche beziehen sich auf den Durchgang der Funken der rheostatischen Maschine durch ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennig oder durch Schwefelblumen allein. Diese Pulver wurden auf einer isolirenden, aus Harz und Paraffin bestehenden Platte ausgebreitet. Die durch die Schwefelblumen gehenden Funken erschienen als bläuliche, feine Lichtlinien, welche, sobald sie nicht die Maximallänge erreicht hatten, seitliche geschlossene Verästelungen, Adern ähnlich, zeigten; niemals beobachtete man an denselben scharfe Winkel. Die von Planté beobachteten Erscheinungen weisen darauf hin, dass die Bewegung von Seite des positiven Poles rapider als jene vom negativen Pole ausgehende ist, was durch die grössere Spannung an diesem Pole verursacht wird.

Wenn nur spärlich Schwefelblumen sich auf der Platte befinden, so zeigt sich noch immer eine scharf ausgeprägte Lichtlinie, von welcher viele Verästelungen, insbesondere vom positiven Pole, ausgehen; Planté nennt deshalb bezeichnend diese Funken »etincelles arborescentes«. Derartige Abdrücke wurden auch an Körpern von Personen beobachtet, die vom Blitze getroffen wurden. Durch die Macht der Entladungen werden die Pulvertheilchen in die Luft geschleudert, entflammt und fallen auf den Körper, durch welchen der Entladungsschlag geht, zurück, denselben an den getroffenen Stellen verbrennend oder sengend. Wurde das Pulver von der isolirenden Platte nicht stark abgeschüttelt, so war die Funkenlinie am positiven Pole dicker als am negativen;

um den ersteren erschienen Streifen, gleichsam Fragmente der früheren Verästelungen, um den negativen Pol erschienen runde Spuren.

Mittelst der rheostatischen Maschine können auch Phänomene hervorgerufen werden, welche den Lichtenberg'schen Figuren analog sind. Zu derartigen Versuchen verwendete man das Schwefel-Mennniggemisch. War die Entfernung zwischen den beiden Polen des Erregers so gross, dass nur ein Lichtbüschel in freier Luft erscheinen würde, so erstreckt sich die Bewegung der ponderablen Materie, die vom negativen Pole ausgeht, nicht zum positiven Pole. Nur um den negativen Pol zeigen sich Spuren von den am Harzkuchen anhaftenden Mennigpartikelchen. Um den positiven Pol zeigte sich die schöne Lichtenberg'sche positive Figur, welche aus Schwefelblumen gebildet war. Bei geringerer Schlagweite war die am positiven Pole auftretende Strahlenfigur gegen den negativen Pol geöffnet und es erstreckte sich die vom negativen Pole ausgehende Mennigspur in die Mitte der positiven Figur. Aus diesen Versuchen schloss Planté, dass an jedem Pole eine Mischung der beiden Elektricitäten stattfinden kann, und es ist wahrscheinlich daraus der Umstand zu erklären, dass man mit elektrischen Strömen von einer sehr hohen Spannung eine vollständige Wasserzerlegung in Sauerstoff und Wasserstoff an jedem Pole hervorrufen kann. Die vom positiven Pole ausgehende Bewegung hüllt die negative elektrische Bewegung ein. Rings um die Funkenlinie findet eine innere Strömung positiver Elektricität statt und zwischen diesem Strom und dem äusseren positiven Strome besteht eine negative Elektricitätsströmung.

Die Funken der rheostatischen Maschine waren viel gelber als die gewöhnlichen Funken, insbesondere dann, wenn man den stark gespannten Strom dieser Maschine durch eine Leydnerflasche von sehr kleiner Oberfläche schliesst. Diese Erscheinung rührt nach Planté von einer unvollständigen Entladung her, welche durch die Substanz des Glases erfolgt und welche eine Verbrennung des in dem Glase enthaltenen Natriums veranlasst.



Bei Anwendung eines Ebonit-Condensators erschien der Funke roth.

Planté hat bei manchen Versuchen seine rheostatische Maschine auch nach Quantität entladen. Denken wir uns die Condensatoren der Maschine nebeneinander verbunden und auch immer so bleibend. Die ladenden Pole der Maschine sind durch die Drähte $r\,r_1$, welche in Federn enden, mit einem Commutator in Verbindung. Dieser ist in der Regel ein Ebonit-Cylinder, welcher an seinem Umfange vier Kupferstreifen, von denen in der Fig. 74 1, 2, 3, in der Fig. 75 aber 4, 1, 2 sichtbar sind, trägt. Sechs Federn schleifen an diesem Cylinder,

von denen die obersten durch die Drähte *a* und *b* mit der ladenden Secundärbatterie, die mittleren mit den Ladungspolen der rheostatischen Maschine, die untersten mit den Entladungspolen der letzteren in leitender Verbindung stehen. Ist der Commutator in der ersten Lage, so erfolgt die Ladung der Maschine, ist er in der zweiten Lage, so entladet sich die Maschine, aber nicht die Secundärbatterie, welche jetzt aus dem Stromkreise ausgeschaltet ist. Bei rascher Drehung des Commutators erhält man eine fast continuirliche Reihe von Entladungen. Planté hat an seiner rheostatischen Maschine die beiden Vorrichtungen für Intensitäts- und Quantitätsladung combinirt, so dass die Maschine nach Belieben hintereinander oder nebeneinander entladen werden kann.

Die Funken der Quantitätsmaschine sind noch kürzer als bei der directen Entladung der Secundärbatterie; bei Anwendung einer Secundärbatterie von 400 bis 800 Accumulatoren variirten die Funken von 0·2 bis 0·3 mm Länge; sie boten das Ansehen von sehr hellen Punkten, die von einer Flammenaureole umgeben sind; sie sind viel heller und lebhafter als jene der directen Entladung der Secundärbatterie. Im Allgemeinen war der Unterschied zwischen den Entladungen der Secundärbatterie mit und ohne Quantitätsmaschine ganz ähnlich jenem zwischen der Entladung einer Inductionsrolle mit und ohne eine Leydnerflasche. Die Aureole, welche sehr entwickelt ist, bildet eine Krone von 8—10 mm im Durchmesser; sie braucht nicht angeblasen zu werden, um sichtbar zu sein. Die Funken der Quantitätsmaschine sind nicht im Stande, Geissler'sche Röhren zu erleuchten; sie sind aber sehr heftig und die Wärme-

effecte sehr bedeutend. Platin- oder Stahldrähte von 10—20 dm Länge und 0·1—0·2 mm Durchmesser können rothglühend, ja sogar geschmolzen werden; die Intensitätsfunken würden in diesem Falle keine merkliche Erwärmung hervorrufen.

Besonders bemerkenswerth sind aber die mechanischen Effecte der Quantitätsfunken. Verbindet man die Maschine mit einem Voltameter, so ist der Durchgang eines jeden Funkens von einem lauten Knall, einer kleinen Explosion ähnlich, begleitet. Es kann die mechanische Wirkung so heftig sein, dass das Voltametergefäss sich verrückt, das Glas geräth in Schwingungen und beim raschen Drehen des Commutators tritt ein sehr intensiver Schalleffect ein. Bei Herstellung von solchen Verbindungen, dass die Secundärbatterie gleichzeitig auf das Voltameter mittelst eines unvollständigen Contactes wirkt, entstehen continuirliche Unterbrechungen; erfolgen die Unterbrechungen rhythmisch, so wird dieser Rhythmus im Voltameter verstärkt. Planté ist der Ansicht, dass man aus dieser Erscheinung einen Nutzen für die Telephonie ziehen könne.

Planté zeigte ferner mit den statischen Funken der Quantitätsmaschine, dass eine Flüssigkeitssäule um den positiven Pol gehoben wurde. Diese Hebungen erfolgen ruckweise und sind einander umso näher, je schneller die Funken auf einander folgen. Einen derartigen Apparat, in welchem man diese Wirkung der Quantitätsfunken zeigen kann, nennt Planté eine Voltaische Pumpe oder einen rheostatischen Widder.

Sendet man den Strom der Quantitätsmaschine durch einen Platindraht von $^1/_{20}$ mm Durchmesser und 40 cm

Länge, so nimmt man auf der ganzen Länge des Drahtes eine Reihe von spitzen Winkeln wahr, welche in fast regulären Distanzen von einander abstehen. Der ganze Draht ist in Theile getheilt, die wie Klammern von der Form —— aussehen. Die spitzen Winkel dieser Klammern alterniren — was ihre Lage nach oben und unten betrifft — meist regulär. Bringt man die beiden Endpunkte des Drahtes einander näher, so bilden sich um die früheren Winkel neue Winkel. Setzt man die Drahtverkürzung fort, so dass die Entladungspole nur mehr die Entfernung von 10 cm haben, so bilden sich noch mehr Spitzen auf der Länge des Drahtes und der letztere bietet in seiner Gestalt die Erscheinung eines continuirlichen elektrischen Funkens dar. Neue Platindrähte sind zur Bildung dieser Knoten weniger geeignet, wie Planté beobachtet hat. Es lässt sich daraus schliessen, dass der Strom die Molecularstructur des Drahtes erschüttern muss, um das Phänomen hervorzurufen. Die Entfernung der einzelnen Knoten hängt von der Spannung des Stromes allein ab und nicht von der Rotations-Geschwindigkeit der Maschine; sie wird umso grösser, je kleiner die Potential-Differenz an den beiden Polen des Entladers ist. Bei der Entladung durch den Draht vernimmt man ein continuirliches Knistern, welches der Schallerscheinung beim Ueberspringen eines Funkens sehr ähnlich ist; dieses Knistern erfolgt aber in dem Drahte selbst und deutet auf eine in demselben erfolgende moleculare Umwälzung hin. Wahrscheinlich entstehen im Drahte während der Ladung sehr starke Contractionen und Dilatationen.

Bekanntlich hat Sir William Thomson zuerst beobachtet, dass ein Condensator im Augenblicke seiner

Ladung und Entladung einen Ton gibt; diese Erscheinung mag denselben Grund wie die von Planté in den Drähten beobachtete haben; auch da dürften in der isolirenden Substanz moleculare Contractionen und Dilatationen vor sich gehen, welche die Veranlassung zu Longitudinal-Schwingungen geben. Ausser diesen longitudinalen Erschütterungen des Drahtes erfährt derselbe noch transversale; erstere sind eine rein mechanische Wirkung des Stromes, letztere hingegen resultiren aus den abwechselnd entgegengesetzt calorischen Effecten derselben. Dass eine starke moleculare Erschütterung beim Durchgange des Stromes durch den Draht stattfindet, dafür spricht auch die Thatsache, dass, wenn der Versuch mehr als zwei Minuten dauert, der Draht von selbst zerreisst.

Planté zieht aus den letzterwähnten Versuchen beachtenswerthe Folgerungen: die molecularen Erschütterungen, welche durch den Strom der rheostatischen Maschine, welchen Planté als dynamostatischen bezeichnet, in einem Platindrahte hervorgerufen werden, entstehen auch, allerdings in einem bedeutend schwächeren Grade, in leitenden Körpern, welche von elektrischen Strömen durchflossen werden, denen eine geringere elektromotorische Kraft zukommt. Diese Vibrationen sind so schwach, dass sie sich einer directen Beobachtung entziehen, nichtsdestoweniger sind sie doch vorhanden.

»Wir glauben demnach«, sagt Planté, »daraus schliessen zu können, dass die elektrische Bewegung sich in den Körpern so fortpflanzt, wie es mit der sogenannten mechanischen Bewegung der Fall ist, nämlich durch eine Reihe sehr schnell auf einander folgender Schwingungen

der mehr oder weniger elastischen Materie, welche die Bewegung durchsetzt.«

Zu diesen bemerkenswerthen Schlüssen wurde Planté noch durch andere Versuche geleitet, welche er mittelst einer rheostatischen Maschine ausführte. Wir können bei diesem Gegenstande, der hohes theoretisches Interesse bietet, nicht länger verweilen und verweisen den Leser auf das von Planté 1879 edirte Werk: »Recherches sur l'Electricité« (Paris, A. Fourneau).

Es sei nur erwähnt, dass einige Versuche mittelst des starken dynamostatischen Stromes Planté zur Erklärung mancher Naturerscheinungen führten. So z. B. hat Planté in seinem Laboratorium einen Versuch angestellt, der einiges Licht auf die bisher räthselhaften Kugelblitze wirft. Dieselben erscheinen als feurige, fast immer kugelförmig gestaltete Massen, die mit ziemlich geringer Geschwindigkeit sich gegen die Erde bewegen, sich längs der an derselben befindlichen Körper weiter bewegen und schliesslich unter Explosions-Erscheinungen zerplatzen. Planté tauchte den positiven Leitungsdraht seines Apparates, dessen Entladungsstrom dem von 1200 Bunsen'schen Elementen gleichkam, in destillirtes Wasser und näherte den negativen Pol einen Augenblick längs der Oberfläche des Wassers. Es zeigte sich eine gelbe kugelförmig gestaltete Flamme, deren Durchmesser ungefähr 2 cm betrug; der Platindraht, welcher 2 mm dick war, wurde geschmolzen. Um das Schmelzen zu verhüten, schaltete er in den Stromkreis eine Wassersäule ein, wodurch die Intensität des Stromes bedeutend verringert wurde. Jetzt erschien der Funke in der Form einer Feuerkugel von 10 mm Durchmesser. Die Erscheinung

hatte die grösste Aehnlichkeit mit den Kugelblitzen, und Planté sprach deshalb die Ansicht aus, dass letztere ihr Entstehen einem reichlichen Strome hochgespannter Elektricität verdanken.

Auch andere Naturerscheinungen, wie z. B. das Phänomen der Wasserhosen, sucht Planté in seinem oben angegebenen Werke zu erklären.

Der stark gespannte Strom einer Secundärbatterie oder einer rheostatischen Maschine kann auch, wie Planté gezeigt hat, dazu dienen, um Gravirungen auf Glas oder Krystallflächen auszuführen. Es gelingt dies besonders dann, wenn man die zu gravirende Fläche mit einer concentrirten Lösung von Kaliumnitrat bedeckt und in die Flüssigkeit, welche die Platte bedeckt, längs der Ränder derselben einen horizontalen Platindraht taucht, welcher mit dem einen Pole der Secundärbatterie in Verbindung steht. Die andere Elektrode, mit welcher man schreibt, besteht aus einem Platindrahte, der bis auf sein Ende mit einer isolirenden Substanz umgeben ist. Die corrodirende Kraft ist sowohl der calorischen Wirkung, als auch der chemischen Action des elektrischen Stromes in Gegenwart der Salzlösung zuzuschreiben. Die Gravirungen können mit der einen oder anderen Elektrode ausgeführt werden; doch hat sich gezeigt, dass der Strom geringer zu sein braucht, wenn man mit der negativen Elektrode gravirt, und es sind die Zeichnungen in diesem Falle auch schärfer.

Die rheostatische Maschine gehört zu den umkehrbaren Maschinen. Man kann nämlich mittelst derselben auch Elektricität hoher Spannung in Elektricität geringer Spannung, oder statische Elektricität in dyna-

mische verwandeln. Dies ist auch, wie Bichat gezeigt hat, mittelst des Ruhmkorff'schen Funkeninductors möglich. Um diese Verwandlung mittelst der rheostatischen Maschine vorzunehmen, bringt man die Spannungspole der letzteren in leitende Verbindung mit einer Elektricitätsquelle hoher Potential-Differenz, z. B. mit den Polen einer Influenzmaschine; die früher mit der Secundärbatterie verbundenen Ladungspole schaltet man in den Schliessungskreis eines Galvanometers. Zuerst stellt man den Commutator der Maschine so, dass die einzelnen Condensatoren hintereinander verbunden sind; bei Drehung des Commutators vollziehen sich die Entladungen nach Quantität und das Galvanometer zeigt einen Strom an, der allerdings wegen des grossen Widerstandes der Condensatoren nur gering ist.

Es ist in den vorhergehenden Zeilen eine Darstellung der wichtigsten und am meisten angewendeten Apparate zur Erzeugung bedeutender Mengen statischer Elektricität — sowohl was deren Einrichtung als auch Wirkungsweise betrifft — vorgenommen worden. Die Natur selbst verfügt über ungleich grossartigere, intensivere Mittel, solche Elektricität zu erzeugen; die Phänomene, welche wir in unseren physikalischen Laboratorien mittelst der im Vorigen beschriebenen Apparate hervorrufen können, liefern nur ein Miniaturbild der Erscheinungen, die im Weltall zu bestimmten Zeiten und an bestimmten Orten mit besonderer Stärke auftreten und deren Zustandekommen man der atmosphärischen Elektricität zuschreibt. Das Studium dieser Erscheinungen, das auf mannigfache Schwierigkeiten stösst, obliegt der Tochterwissenschaft der Physik, der Meteorologie.

Anhang.

Wir hatten im Vorhergehenden mehrfach Gelegenheit, auf die Spannungsverschiedenheiten der galvanischen Elektricität und jener Elektricität, wie sie etwa durch Reibungs- oder Influenzmaschinen erzeugt wird, hinzuweisen. Es dürfte für den Leser nicht ohne Interesse sein, zu erfahren, wie es möglich ist, zahlenmässig diese Unterschiede zu verfolgen, und es soll die nachstehende kurze Betrachtung genügen, um ihm wenigstens das Princip der absoluten Messung elektromotorischer Kräfte oder von Potential-Differenzen zu erläutern und einigermassen ein Bild der obwaltenden Unterschiede der Generatoren stark- und niedergespannter Elektricität zu geben.

Für die absolute Messung von Potentialunterschieden eignet sich in ganz vorzüglicher Weise das Plattenelektrometer von Thomson, von dem wir, da es an anderer Stelle dieser Bibliothek ausführlich beschrieben ist, nur bemerken, dass es im Wesentlichen aus zwei parallelen Platten, die auf verschiedene Potentiale gebracht werden, besteht. Die eine dieser Platten ist so eingerichtet, dass ein Stück von ihr, von dem kein Theil nahe an dem Rande der Platte ist, unter der Wirkung der elektrischen Kraft, welche aus der Potential-Differenz der beiden

Platten entspringt, beweglich ist. Die Theorie dieses Instrumentes lehrt, dass, wenn V die Potential-Differenz der beiden Platten, D deren Entfernung ist, ferner S der Flächeninhalt der beweglichen Platte ist, folgende Gleichung gilt:

$$V = D\sqrt{\frac{8\pi F}{S}},$$

wobei F die Anziehungskraft der beiden Platten bedeutet, die durch Gewichte, also absolut, bestimmt werden kann.

Nach dieser Formel erhielt z. B. Thomson den absoluten Werth der elektromotorischen Kraft E eines Daniell'schen Elementes:

$$E = 0{\cdot}00378,$$

wobei als Längeneinheit der Millimeter, als Gewichtseinheit das Milligramm angenommen wurde. Um die Messung leichter vornehmen zu können, brachte er die Pole einer Daniell'schen Batterie von 1000 Elementen mit den Platten des Elektrometers, die um einen Millimeter entfernt waren, in Verbindung und beobachtete eine elektrische Anziehung der Platten, welche für den Quadrat-Centimeter 5·7 Gramm betrug.

Die von Thomson auf diese Weise gefundene Zahl für die elektromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes ist in guter Uebereinstimmung mit anderen diesbezüglichen Untersuchungen, welche von mehreren Physikern, so insbesondere Branly, angestellt wurden.

Für die Messung von sehr grossen Potentialen eignet sich das Thomson'sche absolute Elektrometer in der angegebenen Form nicht und es wurde dem letzteren von Thomson eine besondere Gestalt für diesen Zweck er-

theilt. Das in der Weise construirte Elektrometer nennt Thomson »long rang electrometer« und es ist dasselbe geeignet, das Potential eines Generators hochgespannter Elektricität anzugeben, welcher im Stande ist, Funken von 30 cm Länge zu liefern.

Das Potential solcher Elektricitätsquellen kann man aber auch nach der sogenannten Schwingungsmethode bestimmen, welche im Wesentlichen im Folgenden besteht: Ein an einem Ende in eine mit Stanniol überkleidete Korkkugel ausgehendes Metallstäbchen ist an einem mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Metalldrahte aufgehängt. In einer gewissen Entfernung wird eine Kugel von einem viel grösseren Durchmesser 2 R aufgestellt, welche auf ein Potential V gebracht ist. Lässt man die bewegliche Nadel schwingen, so lange noch jede influenzirende Elektricitätsmenge ferne ist, und zählt die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit, so findet man dieselbe n; lässt man aber die Nadel unter dem Einflusse der influenzirenden Kugel schwingen, so wird diese Schwingungszahl grösser werden und etwa N sein. Nennt man T das Trägheitsmoment der Nadel, r den Radius der mit Stanniol überdeckten Korkkugel, D die Entfernung der beiden Kugeln, l die Entfernung des Mittelpunktes der beweglichen Kugel von der Drehungsaxe des beweglichen Stäbchens, so lehrt eine leichte Rechnung, dass

$$N^2 - n^2 = \frac{l\,R^2\,r}{\pi^2\,T\,D^3}\,V^2$$

ist, woraus sich unmittelbar:

$$V = \frac{\pi\,D}{R}\sqrt{\frac{(N^2 - n^2)\,T\,D}{l\,r}}$$

für das gesuchte Potential der Kugel ergibt, und zwar in absoluten Werthen.

Von diesen Betrachtungen ausgehend, hat Professor Mascart das Potential des einen Poles einer Holtz'schen Influenzmaschine bestimmt. Der eine Pol der letzteren war mit der Erde verbunden, der andere stand einerseits mit einer Spitze in Verbindung, die in einer gewissen Entfernung von einem nicht isolirten Conductor sich befand, andererseits mit der grösseren Kugel des eben angegebenen Apparates. Durch einen dazwischengestellten Metallschirm hinderte man die directe Einwirkung der functionirenden Maschine auf den beweglichen Metallstab. Ueberschreitet das Potential des mit der grossen Kugel verbundenen Poles der Maschine einen gewissen Werth, so entweichen aus der mit diesem Pole verbundenen Spitze Lichtbüschel und es wird das Potential constant erhalten und kann nach dem Vorhergehenden gemessen werden. Um den Zusammenhang zwischen Schlagweite und Potential zu bestimmen, wird der Schwingungsapparat entfernt, der Pol der Maschine einerseits mit der Spitze, andererseits mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel abgeleitet ist; man bestimmt die Funkenschlagweite für verschiedene Distanzen der Spitze von dem gegenüberstehenden nicht isolirten Leiter und erhält dann eine Beziehung zwischen derselben und dem absoluten Potentialwerthe. So fand Mascart, dass die Erzeugung eines Funkens von 1 mm zwischen zwei Mikrometerkugeln von 20 mm Durchmesser eine Potential-Differenz von 18·5 absoluten Einheiten erforderte. Zur Hervorrufung von Funken von 20 cm Länge, wie es bei der Holtz'schen

Influenzmaschine der Fall war, bedurfte es — wie aus anderen Betrachtungen hervorgeht — einer 25mal grösseren Potential-Differenz, d. h. einer Potential-Differenz von

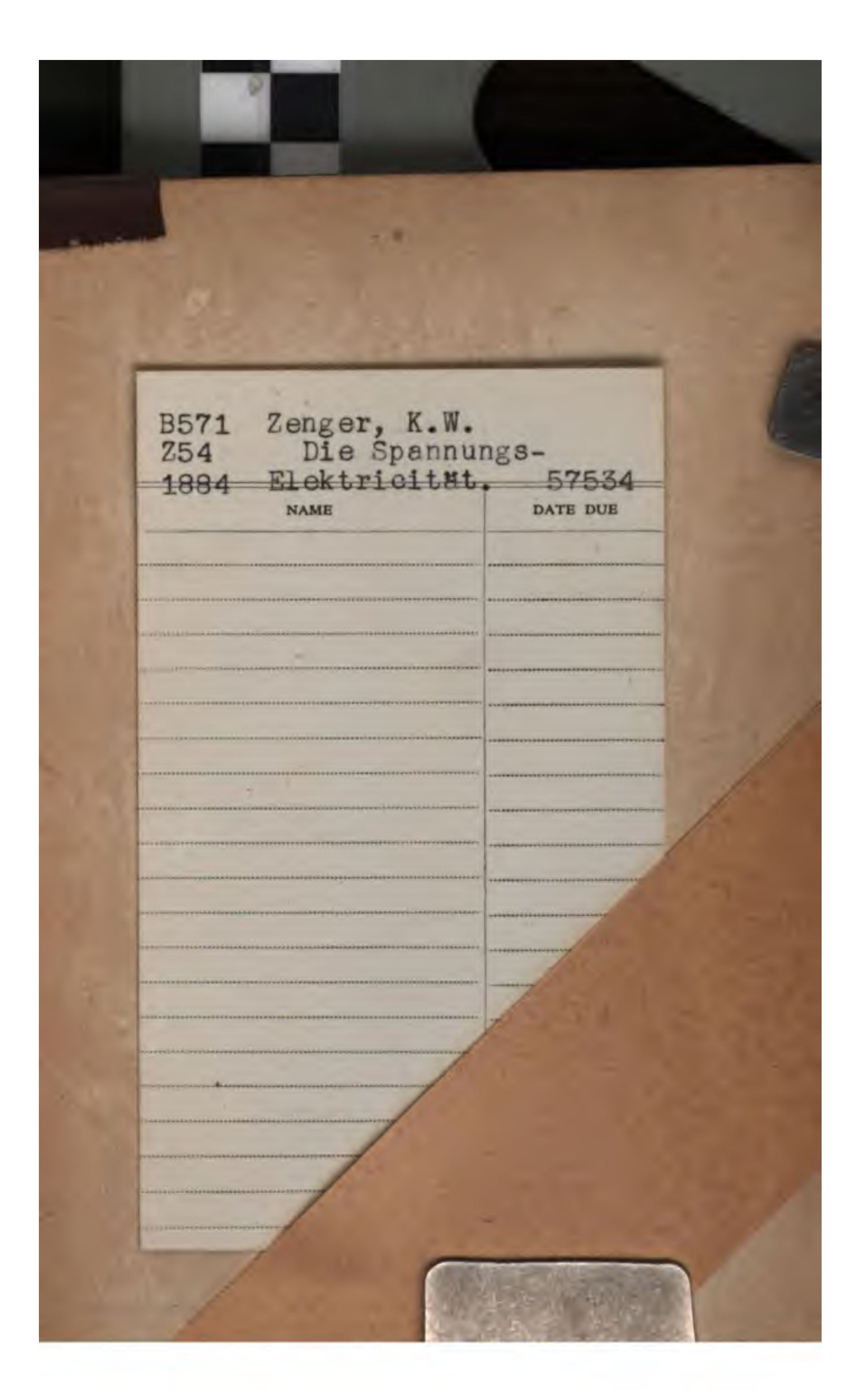
$$18{\cdot}5 \times 25 = 462{\cdot}5$$

absoluten Potentialeinheiten. Dieselbe entspricht aber einer Anzahl Daniell'scher Elemente, welche man mit Zuhilfenahme der oben angegebenen Zahl zu

$$\frac{462{\cdot}5}{0{\cdot}00378} = 122000$$

findet. Es ist somit die elektromotorische Kraft der Holtz'schen Influenzmaschine, die zu dem erwähnten Versuche verwendet wurde, 122000mal grösser, als die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes, und wir erhalten auf diese Weise ein deutliches Bild von dem unterschiedlichen Verhalten der Generatoren hoch- und niedergespannter Elektricität.




B571 Zenger, K.W.
Z54 Die Spannungs-
1884 Elektricität. 57534
NAME
DATE DUE